





**Méthode d'évaluation des compétences dans la conception des commandes de  
procédés industriels avec des automates programmables industriels**

**Par**

**Younès Boulerhcha**

**Sous la direction de M. Martin J.-D. Otis, ing., Ph. D.**

**Mémoire présenté à l'université du Québec à Chicoutimi en vue de l'obtention du grade  
de Maître ès sciences appliquées (M. Sc. A.) en ingénierie**

Québec, Canada

© Younès Boulerhcha, 2023

## RÉSUMÉ

De nos jours, il est courant d'utiliser des systèmes d'évaluation et de notation automatisés sur les plateformes d'apprentissage en ligne pour évaluer la fonctionnalité et la qualité d'un code écrit dans des langages de programmation tels que Java ou MATLAB. De ce fait, l'introduction d'un système d'évaluation et de notation automatisés pour évaluer la qualité de la programmation de commandes de procédés industriels pourrait s'avérer utile non seulement dans le domaine de l'apprentissage en ligne, mais également dans le recrutement et la maintenance des systèmes de commande industrielle.

Le but de ce projet de maîtrise est de développer un nouveau système pour évaluer la performance de la programmation des commandes de procédés industriels et de générer un score qui reflète la qualité de cette performance.

Les techniques habituellement utilisées par les systèmes d'évaluation et de notation automatisés sont difficilement applicables dans le domaine de l'automatisation industrielle où une solution de conception n'est pas unique et nécessite une classification des ensembles de solutions possibles et une évaluation de sa complexité. Cependant, une commande, qu'elle soit séquentielle telle que le GRAFCET, le FBD, le LADDER ou autre, ou qu'elle soit continue telle que le PID, l'avance-retard de phase, la commande robuste, génère un chronogramme et une courbe temporelle qui peuvent être analysés.

Dans cette optique, nous nous proposons d'étudier les courbes temporelles et les chronogrammes générés par les commandes pour mesurer la similarité entre des solutions admissibles et les conceptions à évaluer.

Les distances de déformation sont déterminées à l'aide de la technique de la déformation temporelle dynamique (DTW), puis classées en utilisant la méthode d'apprentissage automatique supervisé des k-plus proches voisins (k-NN). Les classes sont des notes reflétant la qualité de la programmation sur une échelle (A, B, C, D, E) avec (A) étant la note la plus élevée et (E) la note la plus basse.

Le système d'évaluation et de notation automatisés permet d'obtenir une note reflétant la qualité de la programmation des commandes de procédés industriels dans 88.5% des cas traités. Évidemment, une notation, même chez un expert, est une tâche difficile dont il existe un certain niveau de subjectivité et d'interprétabilité. Cette tâche n'est pas seulement que quantitatif, mais aussi qualitatif. En ce sens, la qualité de l'évaluation ne représente pas seulement qu'un taux de classification, mais admet également une variabilité dans le taux de classification.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de la réalisation de ce travail de recherche. Tout d'abord, je remercie Pr. Martin Otis pour ses précieux conseils, sa patience et sa disponibilité au cours des deux dernières années. Merci de m'avoir donné l'opportunité de faire partie du Laboratoire d'Automatique et de Robotique Interactive de l'Université du Québec à Chicoutimi.

Je suis également reconnaissant envers M. Claude Fillion et M. Gabriel Lajeunesse pour le temps qu'ils m'ont consacré lors de ce travail de recherche. Merci pour vos conseils, j'ai beaucoup appris de nos discussions.

Je tiens à remercier mes professeurs de l'Université du Québec à Chicoutimi pour tout le savoir qu'ils m'ont transmis lors de ma formation académique dans le cadre de ma maîtrise.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du jury d'évaluation qui ont consacré du temps à la lecture de ce mémoire.

Je souhaite également exprimer ma gratitude envers mes amis et ma famille pour leur soutien et leur encouragement qui m'ont donné une motivation et un courage inépuisables.

Je voudrais remercier tous les participants qui ont pris part à ce travail de recherche pour leur temps et leur participation.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont joué un rôle dans l'aboutissement de ce mémoire. Leurs contributions ont été essentielles dans la réussite de ce projet.

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
TABLE DES MATIÈRES .....	iv
LISTE DES FIGURES .....	vi
LISTE DES TABLEAUX .....	vii
Chapitre 1 : Introduction.....	1
1.1. Contexte général.....	1
1.2. Problématique .....	2
1.3. Objectifs et hypothèses .....	3
1.4. Méthodologie générale .....	5
1.5. Organisation des chapitres .....	7
Chapitre 2 : Revue de la littérature .....	9
2.1. Introduction .....	9
2.2. Systèmes d'évaluation et de notation automatisés .....	9
2.3. Systèmes d'apprentissage par un tuteur artificiel .....	10
2.4. Systèmes d'auto-évaluation utilisant la comparaison .....	11
2.5. Conclusion.....	12
Chapitre 3 : Méthodologie.....	13
3.1. Introduction .....	13
3.2. Acquisition de données.....	17
3.2.1. Programmation des commandes de procédés industriels.....	17
3.2.2. Collecte de données.....	21
3.3. Calcul des distances .....	23
3.3.1. Principe de fonctionnement du DTW.....	23
3.3.2. Mesure des distances par DTW.....	26
3.4. Prédiction de la note de performance .....	26
3.4.1. Principe de fonctionnement du k-NN .....	26
3.4.2. Prédiction d'une note de performance avec les k-NN .....	28
3.5. Validation expérimentale avec des participants.....	30
3.5.1. Pré-expérimentation .....	30
3.5.2. Expérimentation.....	31

3.5.3.	Post-expérimentation.....	32
3.6.	Discussion.....	33
Chapitre 4 : Résultats et discussions.....		34
4.1.	Introduction .....	34
4.2.	Résultats.....	37
4.2.1.	Distance de déformation.....	37
4.2.2.	Matrices de confusion.....	42
4.2.3.	Précisions .....	44
4.2.4.	Résultats globaux .....	46
4.3.	Participants .....	47
4.3.1.	Données Socio-démographiques .....	48
4.3.2.	Autoévaluation des connaissances .....	50
4.3.3.	Post-expérimentation .....	52
4.4.	Discussion.....	55
Chapitre 5 : Conclusion .....		57
5.1.	Conclusion.....	57
5.2.	Recommandations .....	59
LISTE DES RÉFÉRENCES .....		60
ANNEXES .....		63

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: PROCESSUS DE VALIDATION EXPERIMENTALE AVEC DES PARTICIPANTS.....	5
FIGURE 2 ORGANIGRAMME DE LA SOLUTION PROPOSEE .....	7
FIGURE 3: FONCTIONNEMENT GLOBAL.....	16
FIGURE 4 SCHEMA DU PROBLEME « SYSTEME DE CHARGEMENT DE CAMION » [25] .....	17
FIGURE 5: MISE EN ŒUVRE SFC DU PROBLEME « SYSTEME DE CHARGEMENT DE CAMION ».....	19
FIGURE 6: TRANSITIONS : MISE EN ŒUVRE DE LA LOGIQUE LADDER DU PROBLEME « SYSTEME DE CHARGEMENT DE CAMION » .....	19
FIGURE 7: ETAPES : MISE EN ŒUVRE DE LA LOGIQUE LADDER DU PROBLEME « SYSTEME DE CHARGEMENT DE CAMION » .....	20
FIGURE 8: ACTIONS : MISE EN ŒUVRE DE LA LOGIQUE LADDER DU PROBLEME « SYSTEME DE CHARGEMENT DE CAMION » .....	20
FIGURE 9: CHRONOGRAMME DE LA SIMULATION DU FONCTIONNEMENT SUR OPENPLC EDITOR POUR LE PROBLEME « SYSTEME DE CHARGEMENT DE CAMION » .....	21
FIGURE 10: ORGANIGRAMME DU FONCTIONNEMENT DU K-NN.....	27
FIGURE 11: ORGANIGRAMME DU FONCTIONNEMENT DU K-NN AVEC K=1 .....	29

## **LISTE DES TABLEAUX**

TABLEAU 1 PROBLEMES EN AUTOMATISATION .....	14
TABLEAU 2 EXEMPLE DE DONNEES COLLECTEES .....	22
TABLEAU 3 NOMBRE DE SOLUTIONS PAR PROBLEME .....	35
TABLEAU 4 DEFORMATION TEMPORELLE DYNAMIQUE POUR LE PROBLEME « SYSTEME DE CHARGEMENT DE CAMION » .	39
TABLEAU 5 MATRICES DE CONFUSION .....	42
TABLEAU 6 PRECISIONS .....	44
TABLEAU 7 MATRICE DE CONFUSION DES SCORES DE PERFORMANCE POUR TOUS LES PROBLEMES.....	46
TABLEAU 8 PRECISION GLOBALE POUR TOUS LES PROBLEMES .....	47
TABLEAU 9 RESULTATS DU QUESTIONNAIRE SOCIO-DEMOGRAPHIQUE.....	48
TABLEAU 10 NIVEAU DE CONNAISSANCE DECLARE ET EVALUATION AUTOMATIQUE.....	50
TABLEAU 11 RESULTATS DU QUESTIONNAIRE POST-EXPERIMENTATION .....	52



## **Chapitre 1 : Introduction**

### **1.1. Contexte général**

Il convient de souligner que les entreprises manufacturières québécoises accusent un retard important dans l'automatisation de leur processus et la modernisation de leurs équipements par rapport aux autres pays industrialisés. Or, un frein majeur à l'automatisation des entreprises manufacturières au Québec et au Canada est la pénurie de main d'œuvre dans les firmes d'automatisation [1]. Une des solutions à la pénurie de main d'œuvre est le recrutement à l'international. En effet, beaucoup de firmes d'automatisation songent à recruter à l'international. Toutefois, les entreprises qui choisissent cette voie ont de la difficulté à évaluer efficacement les compétences des candidats internationaux avec les pratiques actuelles. Ainsi, ce projet de recherche propose la création, la conception, le développement et la mise en œuvre d'un système d'évaluation et de notation de la solution apportée par un candidat à la suite de la conception d'une logique de commandes séquentielle et continue dans l'automatisation d'un procédé. Le projet vise à comprendre les méthodes utilisées afin d'évaluer la logique d'une commande sans avoir recours à des simulateurs physiques (automate programmable industriel) ni à des experts dans le domaine. Le présent

projet de recherche, mené avec l'organisme partenaire Talentech, vise à développer une méthode d'évaluation des compétences de la conception d'une commande. Ainsi, la correction et la notation de la solution du candidat seront réalisées par les variables internes de la commande, soit en obtenant les chronogrammes des variables internes et en comparant les chronogrammes à un ensemble de solutions admissibles. Les travaux de recherche portent sur l'utilisation des chronogrammes afin d'estimer une distance de déformation qui sera utilisé pour estimer un score de performance. Ainsi, Talentech pourra obtenir un système d'évaluation automatique des compétences des candidats internationaux afin de sélectionner les meilleures ressources humaines pour leurs clients.

## **1.2. Problématique**

Les procédés industriels sont de plus en plus complexes en raison du besoin croissant de l'optimisation par l'utilisation de capteurs intelligents introduits dans l'industrie 4.0. En effet, dans un contexte de développement durable, il est désormais requis de comprendre l'ensemble des phénomènes physiques et de les commander de manière optimale pour réduire la consommation d'énergie et réduire l'empreinte écologique. De plus, en raison de la pénurie de main d'œuvre, il existe peu d'experts dans le domaine d'une automatisation de pointe et les formations universitaires de premier cycle n'ont pas suffisamment de temps pour couvrir l'ensemble des notions.

Selon un sondage sur la fabrication de pointe au Québec publiée par le REAI en 2019 qui regroupent les entreprises d'automatisation et les équipementiers

industriels, 52% des répondants affirment que c'est la gestion des ressources humaines qui est le principal frein à leur croissance. Les répondants affirment que la pénurie de main-d'œuvre, l'inadéquation entre les compétences requises et le manque de finissants dans le domaine recherché sont les principaux sous-obstacles à la gestion des ressources humaines [2]. Il est donc requis de procéder à du recrutement international. Pour cette raison, ce projet de recherche vise l'évaluation technique avancée de candidats (expert externe qui va au-delà des examens de l'OIQ) afin de les introduire dans le marché de l'emploi au Canada.

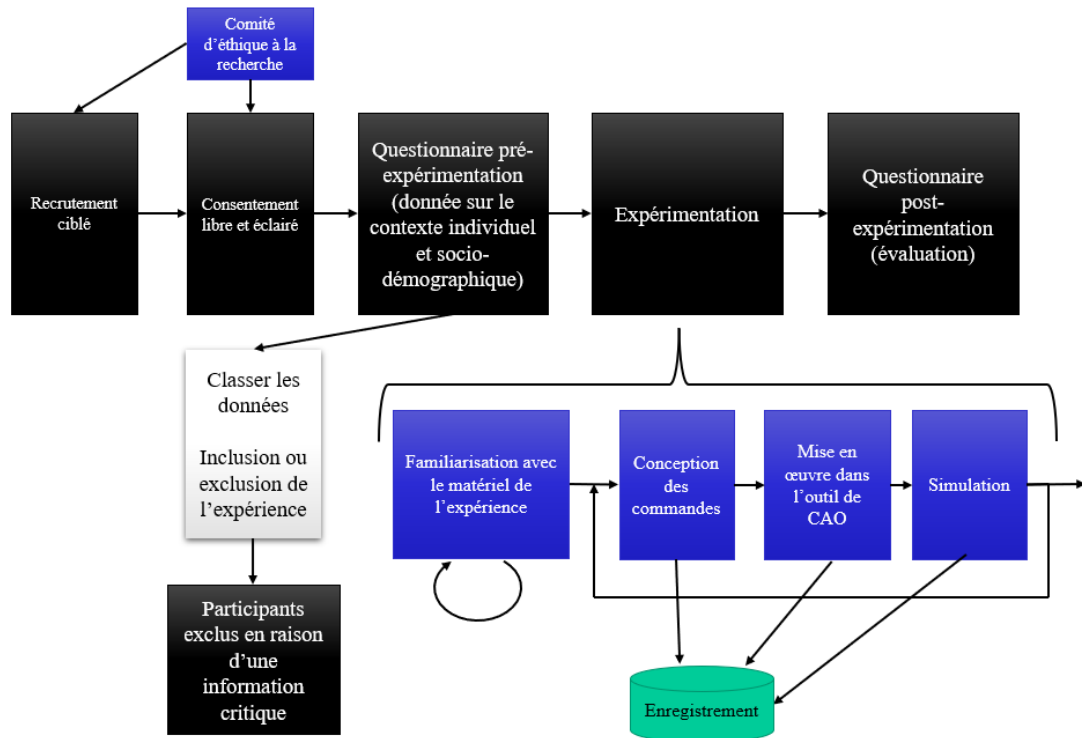
### **1.3. Objectifs et hypothèses**

Le premier objectif du projet de recherche est de développer et mettre en œuvre une méthode de validation et de notation automatique d'une conception et une mise en œuvre de commandes en s'inspirant de la méthode présentée dans [3] et de manière paramétrique comme le suggère Otto et al. 2020 [4], soit à partir d'un ensemble de solutions possibles et en comparant les états internes de la commande. Grâce à l'utilisation de chronogrammes (états internes), il serait possible de classer des solutions en utilisant un algorithme de déformation temporelle dynamique (mieux connu sous le nom de DTW) par la mesure de similarité entre un ensemble de solutions et les chronogrammes produits par le résultat du candidat. Cette mesure de similarité pourrait potentiellement être liée à une note. Cependant, cette note peut ne pas refléter avec une précision acceptable la qualité de la performance et la méthode des k-plus proches voisins (k-NN) utilisée à la sortie du DTW est ensuite explorée afin de déduire son impact sur la notation. Le projet ne couvrira cependant pas la localisation des erreurs et

ne couvrira pas les rétroactions avec l'utilisateur comme cela a déjà été suggéré dans [5]. De plus, le projet ne prévoit pas une intégration dans une plateforme éducative comme Moodle [6], mais prévoit une utilisation dans deux logiciels ouverts OpenPLC (mise en œuvre de la commande) et XCOS (simulation de la dynamique du procédé à commander).

Un objectif secondaire est la validation expérimentale avec des participants. Dans un contexte d'interaction humain-machine, le comportement de plusieurs participants (candidats) est étudié, et les méthodes et processus d'apprentissage et de familiarisation sont conçus avant l'exécution du test de compétence. Par la suite, afin de valider les résultats obtenus par la méthode de notation proposée, des expérimentations sont réalisées avec des participants (candidats) qui auront à réaliser différentes conceptions de commandes.

Le processus habituel adopté dans cette recherche est illustré dans la figure 1 (inspirée des diapositives des notes de cours dans 6MIG841 Interaction Humain-Robot par le professeur Martin Otis, Département des sciences appliquées, UQAC, 2022) :



**Figure 1: Processus de validation expérimentale avec des participants**

#### 1.4. Méthodologie générale

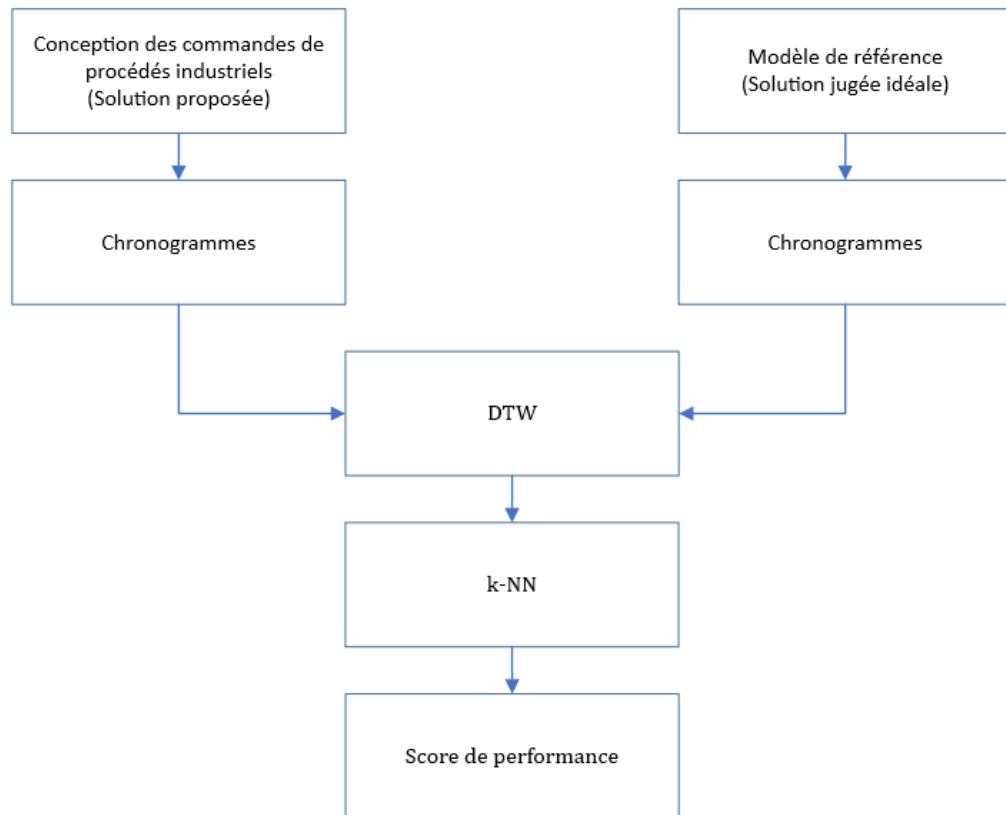
L'évaluation d'une performance de manière automatisée est aujourd'hui d'actualité plus que jamais en vertu des utilisations multiples possibles, citant par exemple, l'optimisation des systèmes de commande industrielle, l'identification et la réduction des erreurs dans une conception, l'évaluation de l'efficacité énergétique d'une installation, l'évaluation des conceptions en automatisation, etc. Le présent travail de recherche propose la création d'un système d'évaluation et de notation sur la conception de la logique de commandes séquentielles et continues dans l'automatisation d'un procédé mis en œuvre sur automate programmable industriel.

L'évaluation et la notation sur la conception seront réalisées par les variables internes de la commande, soit en obtenant les chronogrammes et en comparant les chronogrammes à un ensemble de solutions admissibles en suivant les étapes ci-dessous :

- 1) une étape d'acquisition des données sous forme de simulations des programmations des commandes de procédés industriels pour la conception à évaluer ainsi que la solution jugée idéale par un expert ;
- 2) une étape de détermination des distances de déformation avec la technique de la déformation temporelle dynamique (DTW) par la mesure de similarité entre les deux solutions et
- 3) une étape de classification grâce à la méthode d'apprentissage automatique supervisée des k-plus proches voisins (k-NN), ainsi les distances de déformation des variables internes sont utilisées pour évaluer et noter la conception proposée.

En effet, les chronogrammes des variables internes qui décrivent le comportement obtenu par la conception de la commande sont utilisés comme des entrées au DTW pour le calcul des distances en les comparant à des solutions admissibles. Ces distances sont par la suite utilisées comme entrée pour le k-NN pour déterminer leurs classes (A, B, C, D, E) et ainsi estimer un score de performance de la conception des commandes séquentielles et continues.

L'organigramme présenté dans la figure 2 montre les étapes de la solution proposée.



**Figure 2 Organigramme de la solution proposée**

### 1.5. Organisation des chapitres

Ce mémoire comprend cinq chapitres, qui abordent respectivement les thèmes suivants :

- le présent chapitre (chapitre 1) présente le contexte du projet de recherche, la problématique, les objectifs et la méthodologie ;

- le chapitre 2, consacré à la revue de littérature, présente les systèmes d'évaluation et de notation automatisés existants, ainsi que leur pertinence par rapport au présent projet de recherche ;
- le chapitre 3 explique la méthodologie suivie en détaillant chacune des étapes, à savoir l'acquisition de données, le calcul des distances et la prédiction des notes de performance ;
- le chapitre 4 présente les résultats obtenus, notamment à travers des matrices de confusion et des calculs de précision et
- le chapitre 5 détaille les conclusions tirées tout au long du projet de recherche présentées dans ce mémoire, ainsi que les recommandations qui en découlent.



## Chapitre 2 : Revue de la littérature

### 2.1. Introduction

Une solution de conception n'est pas unique et nécessite une classification des ensembles de solutions possibles et une évaluation de sa complexité. Contrairement à la notation d'un code dans un langage de programmation (Java, C, etc.), une commande (qu'elle soit séquentielle telle que le GRAFCET, le FBD, le LADDER, le texte structuré (ST) ou autre, ou qu'elle soit continue telle que le PID, l'avance-retard de phase, la commande robuste) génère des chronogrammes et des courbes temporelles qui peuvent être analysés.

### 2.2. Systèmes d'évaluation et de notation automatisés

Des systèmes d'évaluation et de notation automatisés ont été proposés dans la littérature pour évaluer les compétences de programmation des étudiants en sciences informatiques et en ingénierie (mise en œuvre de code dans un langage de programmation comme le Java [1] et plus récemment en C/C++ [7] et les script MatLAB [8]). Les techniques habituellement utilisées pour la correction et la notation couvrent la localisation des erreurs via la traduction en expression logique [9], la sémantique formelle en utilisant une analyse dynamique du code exécuté [10] et des techniques en apprentissage machine dont la régularisation de Tikhonov (*ridge*), les SVM et les forêts d'arbres décisionnels combinées avec

différentes techniques de sélection de caractéristiques [11]. À ce sujet, on retrouve de nombreuses techniques d'évaluation de la similarité entre les différents codes, en particulier avec l'utilisation de la partition des données des k-moyennes (k-mean clustering) [3].

Ces techniques sont difficilement applicables dans le domaine de l'automatisation industrielle qui comprend la correction automatique de commandes de procédés industriels (GRAFCET, LADDER, FBD, etc. selon la norme IEC 61131-3). En particulier, il n'est pas possible d'analyser la dynamique de la logique comme le propose [10], puisqu'une commande est davantage liée à des états internes qui peuvent être analysés avec des chronogrammes. En ce sens, la revue de la littérature démontrant la recherche nécessaire dans le domaine est abordée en trois étapes successives, soient : 1) l'apprentissage itératif à l'aide d'un tuteur intelligent, 2) la génération d'un ensemble de questions et 3) l'auto-évaluation. La revue s'intéresse seulement qu'à la conception assistée par ordinateur et aux commandes mis en œuvre sur des automates programmables industriels.

### **2.3. Systèmes d'apprentissage par un tuteur artificiel**

Les systèmes d'apprentissage par un tuteur artificiel et intelligent comprenant un système d'évaluation ont été développés afin d'optimiser l'apprentissage par des itérations [12] de manière à fournir des rétroactions et des auto-évaluation fréquentes. Ces systèmes permettent de développer des compétences stratégiques et des habiletés qui ont un facteur de différenciation et qui sont recherchées par les entreprises [13]. En particulier, des notions de conception d'une commande séquentielle sur automate programmable industriel,

en LADDER, a été mis en œuvre pour des étudiants en ingénierie de manière à perfectionner leurs compétences dans la résolution de problèmes dans un ou des projets pour la commande d'un procédé dans une usine [14].

Ces systèmes ont été développés et généralisés pour l'enseignement des concepts en ingénierie afin de considérer des groupes d'apprenants hétérogène possédant des préférences et des styles d'apprentissage différents [15] en utilisant des techniques d'apprentissage par projet [16]. Des systèmes personnalisés d'éducation utilisant des tuteurs virtuels intelligents sont apparus dans les sciences informatiques dès 2007. L'application de différentes techniques d'intelligence artificielle [17] a permis aux tuteurs d'offrir un guide et des instructions adaptés, des révisions [18], d'évaluer les apprentissages et de définir ou mettre à jour le modèle de l'apprenant dans des domaines aussi variés que la chimie, la physique et les sciences de la santé [19].

#### **2.4. Systèmes d'auto-évaluation utilisant la comparaison**

On retrouve des systèmes d'auto-évaluation en utilisant une comparaison entre un ensemble de modèles théoriques idéaux et la solution du candidat. Cette approche comparative a été utilisée dans la conception assistée par ordinateur, en particulier dans la conception de pièces 3D [20]. Cependant, cette approche ne permet pas d'obtenir plusieurs problèmes afin de valider un vaste ensemble de compétences.

Pour cette raison, des générateurs automatiques de questions existent, mais ces générateurs choisissent habituellement des questions à partir d'une base de données. En ce sens, un système de gestion de la base de données des questions

(via un gestionnaire du développement adaptatif de la banque de questions proposé par Purohit et al. 2012 [21]) doit favoriser une adaptation progressive des questions [22]. Ces systèmes sont habituellement arrimés avec des concepteurs de questions. Cependant, une évaluation ou une correction des questions générées automatiquement doit être réalisée [23], permettant ainsi au système d'apprendre à réaliser de meilleures questions. La génération de questions est basée sur un ou des problèmes pratiques dans une méthode de conception précise de la commande séquentielle. Ces générateurs de questions ont cependant des problèmes connus dont il faut améliorer les rapports expérimentaux et harmoniser les paramètres d'évaluation tel que cela est décrit dans [24].

## **2.5. Conclusion**

Bien qu'une évaluation de code et de script existe, il n'existe pas, à ce jour, un système permettant de réaliser une comparaison d'une conception dont la solution n'est pas unique dans le domaine de l'ingénierie des systèmes automatisés et dont une évaluation formelle (l'estimation d'une note ou d'un pointage) peut être déduite. En ce sens, le prochain chapitre propose une méthodologie afin de réaliser un système de correction et de notation.

## **Chapitre 3 : Méthodologie**

### **3.1. Introduction**

La méthodologie est divisée en quatre parties. La première partie, soit l'acquisition des données, décrit l'approche choisie pour obtenir les chronogrammes sous forme de séries temporelles ou de séquences décrivant le comportement obtenu par programmation des commandes de procédés industriels. Dans cette partie, des problèmes ont été conçus avec leurs solutions potentielles et une note prédéfinie pour chaque solution. La seconde partie, soit le calcul des distances, décrit la technique utilisée pour le calcul des distances entre les séquences d'observations entre un ensemble de solutions potentielles et la solution du candidat. Dans le cadre du projet de recherche, la technique utilisée est la déformation temporelle dynamique (DTW). La troisième partie, soit la prédiction du score de performance, est dédiée à l'application de la méthode d'apprentissage supervisée, avec les  $k$  plus proches voisins ( $k$ -NN), pour la prédiction du score de performance approprié. La quatrième et dernière partie, soit la validation expérimentale avec des participants, décrit les étapes à suivre pour l'évaluation des compétences des candidats dans la conception des commandes de procédés industriels. Cette dernière étape a permis de recueillir les résultats de la conception des commandes de plusieurs participants provenant

de différentes régions et ayant différente nationalité et de recueillir des informations sur l'utilisabilité du système développé.

Cette approche sera appliquée pour l'attribution de notes de performances sur les solutions pour sept exercices différents répartis sur trois niveaux de difficulté (débutant, intermédiaire et expert). Ces exercices seront sous forme de dictée à trous où une partie de la solution sera préalablement présentée au participant sur le logiciel de programmation. Chaque problème comprend plusieurs trous à combler pour compléter une solution fonctionnelle.

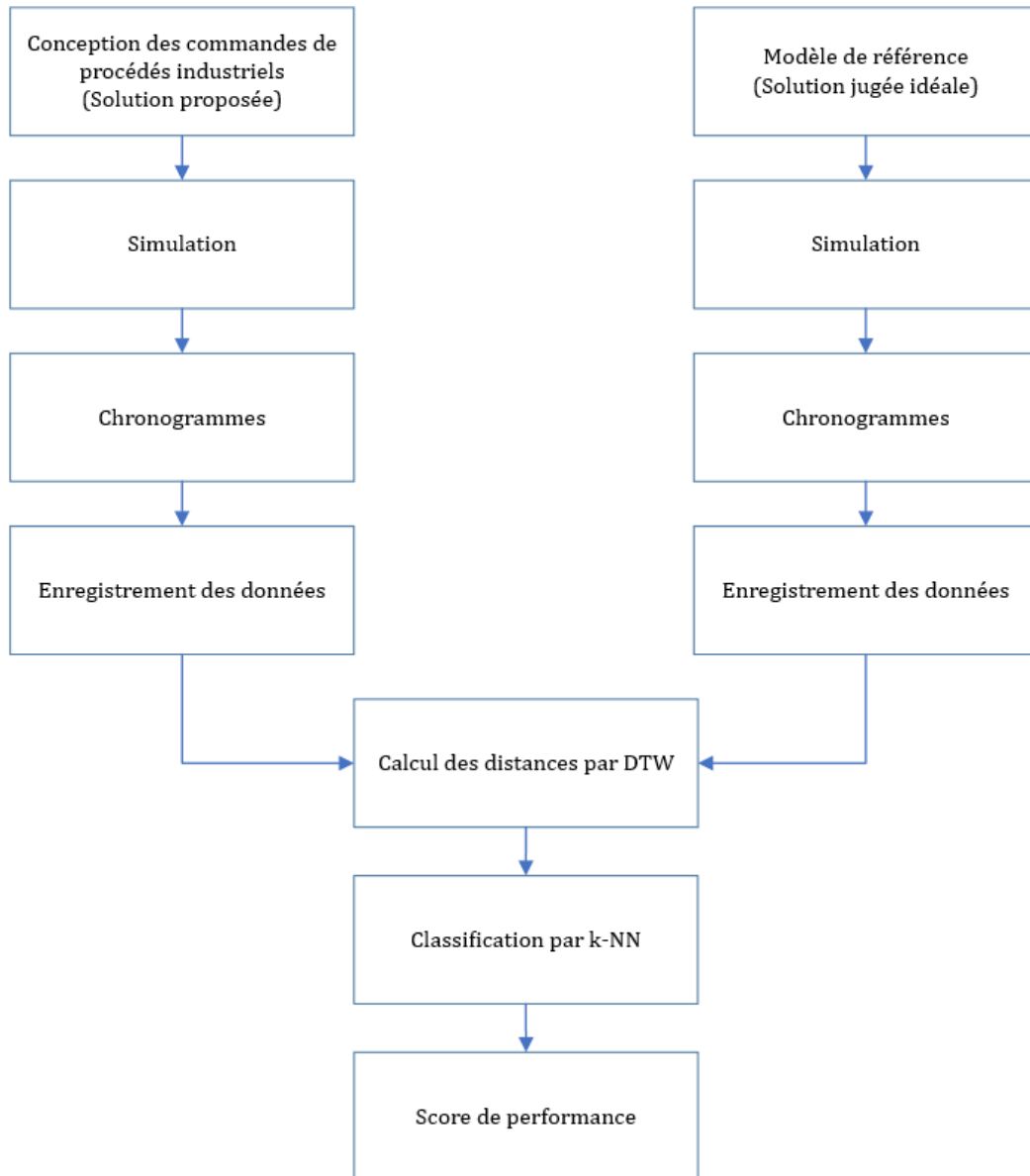
Lors de l'expérimentation, les candidats devront remplir un questionnaire d'autoévaluation, qui permettra d'estimer leur niveau de connaissances et d'attribuer des exercices selon leur niveau. Les candidats de niveau débutant ou intermédiaire auront deux exercices à résoudre, soit un exercice en LADDER puis un exercice en GRAFCET. Les candidats de niveau expert auront un exercice en FBD à résoudre en plus des deux autres exercices (LADDER et GRAFCET). Le tableau 1 ci-dessous indique le niveau de difficulté de chaque exercice ainsi que la compétence technique testée par l'exercice.

**Tableau 1 Problèmes en automatisation**

<b>Exercice</b>	<b>Niveau de difficulté</b>	<b>Compétence testée</b>
Systeme de chargement de camion	Débutant	LADDER

Système automatisé d'un escalier mobile	Débutant	LADDER
Système de perçage	Débutant	LADDER
Système de remplissage de flacons	Intermédiaire	GRAF CET
Synchronisation du chargement d'un plateau avec le chargement d'une palette	Intermédiaire	GRAF CET
Système automatisé de deux postes d'emballage	Intermédiaire	GRAF CET
Système de temporisation à enclenchement	Expert	FBD

La figure ci-dessous présente les étapes du fonctionnement global du système d'évaluation de la performance des commandes de procédés industriels :



**Figure 3: Fonctionnement global**



## 3.2. Acquisition de données

### 3.2.1. Programmation des commandes de procédés industriels

Afin d'établir des modèles de comparaison, on développe, pour tous les problèmes en automatisation pour lesquels nous voulons quantifier un score performance (une note), un ensemble de solutions jugé optimal ainsi que plusieurs autres solutions moins performantes ou erronées. Le logiciel utilisé à cet effet est OpenPLC Editor. Nous présentons ci-dessous un des exercices développés sur OpenPLC Editor, il s'agit du problème nommé 'Système de chargement de camion' présenté à la figure 4 ci-dessous.

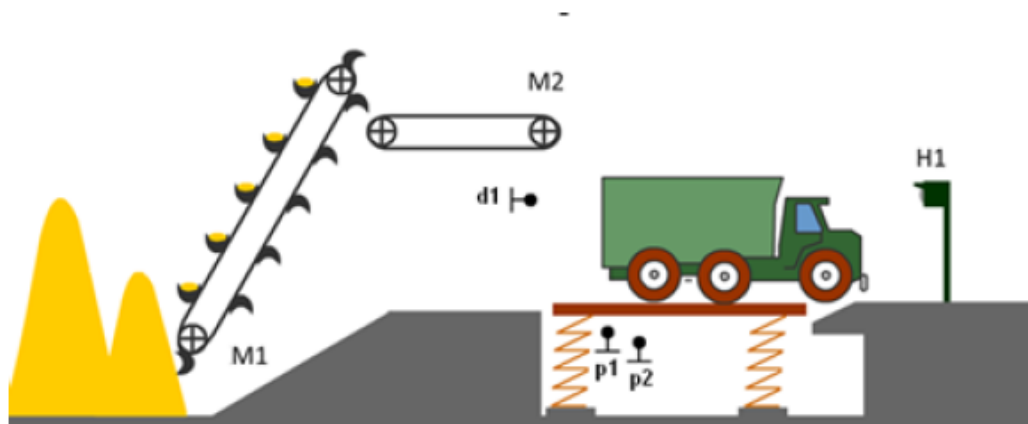


Figure 4 Schéma du problème « Système de chargement de camion » [25]

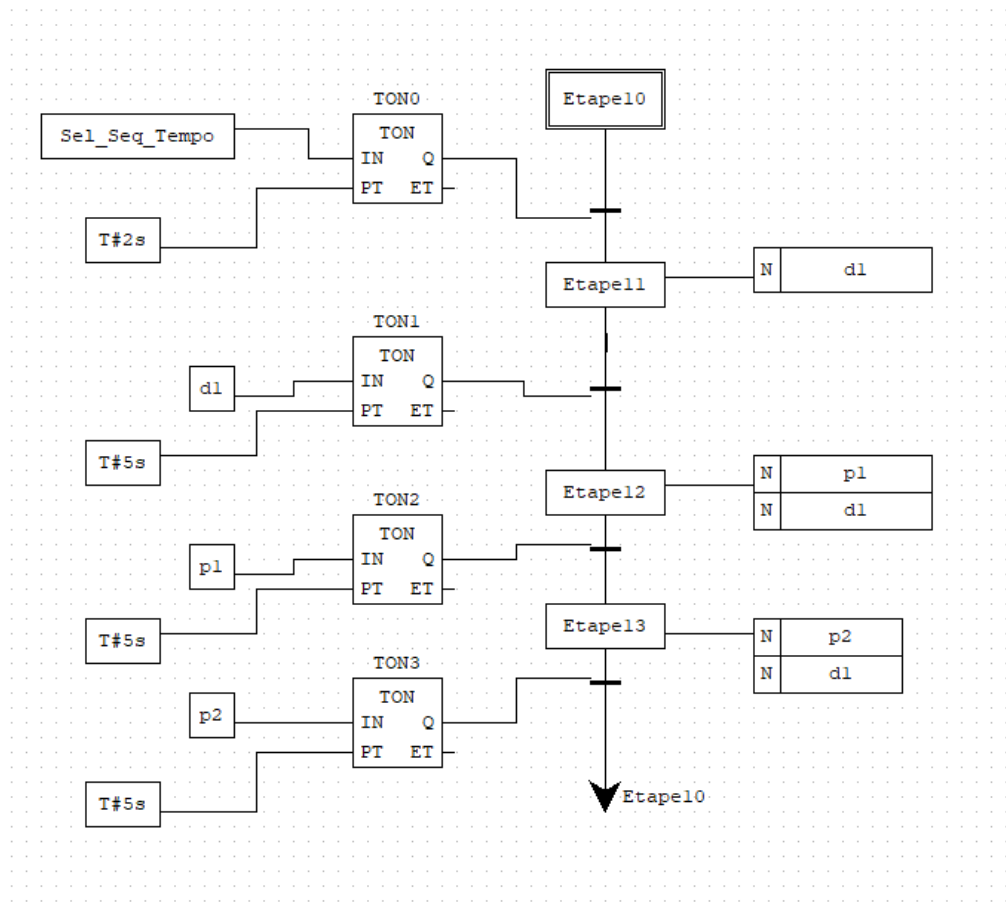
Le problème est décrit comme suit :

- Un camion vide arrive en faisant marche arrière, il active le détecteur de présence **d1** qui provoque le démarrage du tapis 1 (**moteur M1**) et du tapis 2 (**moteur M2**).

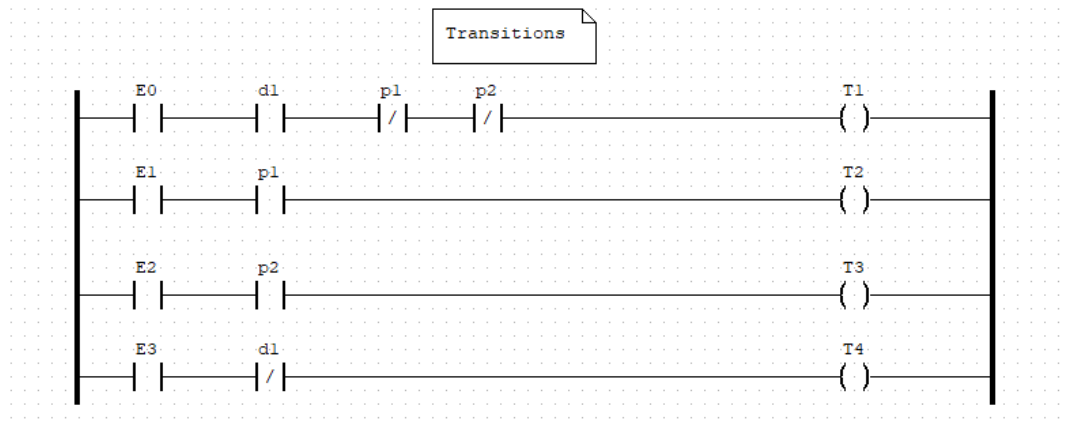
- Le camion est placé sur un système de pesée (en contact avec **d1**). Quand le camion est en partie chargé, l'action de la plateforme sur le détecteur **p1** doit arrêter le tapis 1 et maintenir le tapis 2 en action.
- Le tapis 2 continue de fonctionner jusqu'à l'activation du détecteur **p2**. À ce moment, le voyant **H1** s'allume pour signaler que le chargement est terminé.

Les figures ci-dessous présentent la solution de référence sur OpenPLC pour le problème « Système de chargement de camion ».

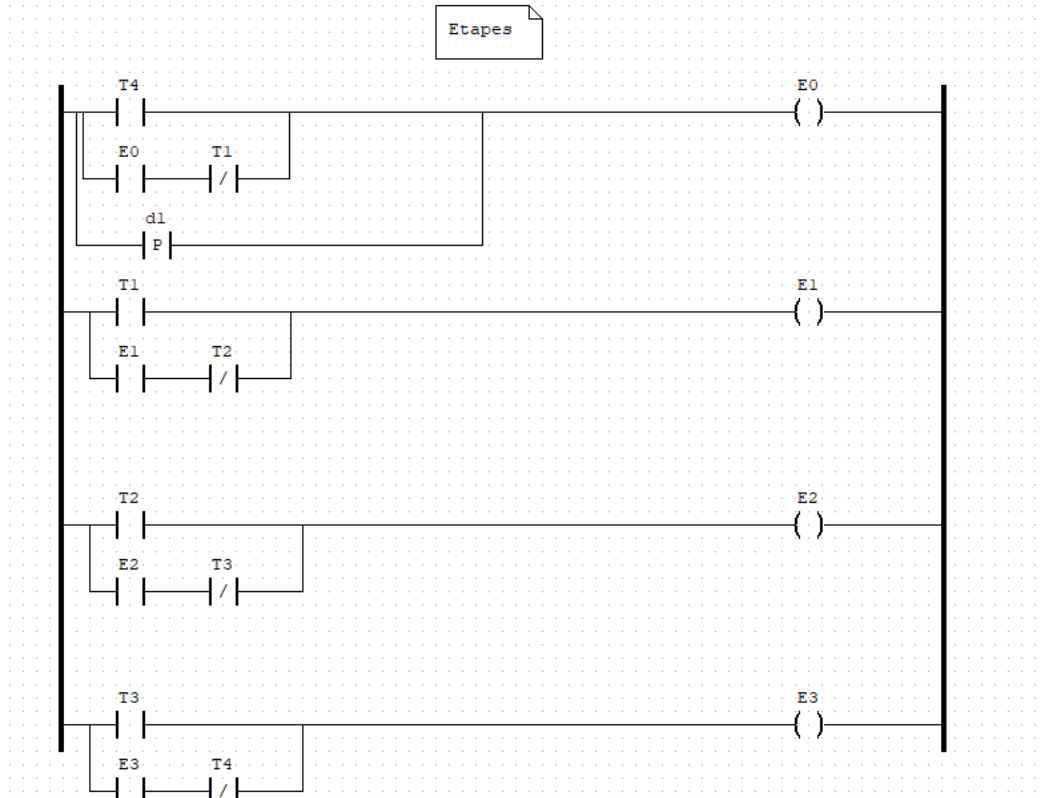
La figure 5 illustre la mise en œuvre en SFC. Les figures 6,7 et 8 présentent la logique en LADDER de la solution jugée idéale par l'expert pour ce problème. La logique est décomposée en trois étapes (transitions, étapes et actions représentées par chaque figure respectivement).



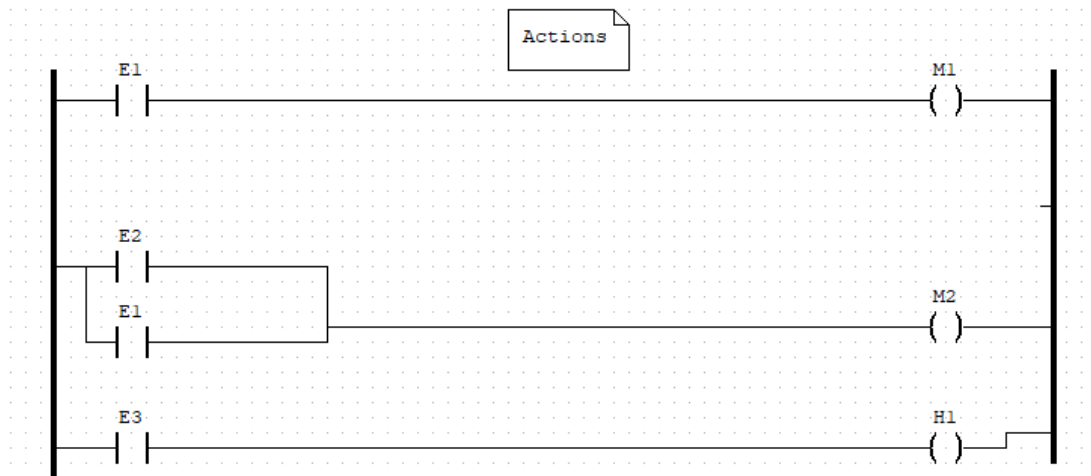
**Figure 5: Mise en œuvre SFC du problème « Système de chargement de camion »**



**Figure 6: Transitions : mise en œuvre de la logique LADDER du problème « Système de chargement de camion »**



**Figure 7: Etapes : mise en œuvre de la logique LADDER du problème «  
Système de chargement de camion »**



**Figure 8: Actions : mise en œuvre de la logique LADDER du problème «  
Système de chargement de camion »**

### 3.2.2. Collecte de données

Une fois que la solution est obtenue, par une mise en œuvre sur le logiciel OpenPLC Editor, nous effectuons une acquisition des données en réalisant une simulation du fonctionnement. La figure 9 ci-dessous montre une partie du chronogramme, soit l'état des variables à un instant donné de la simulation.

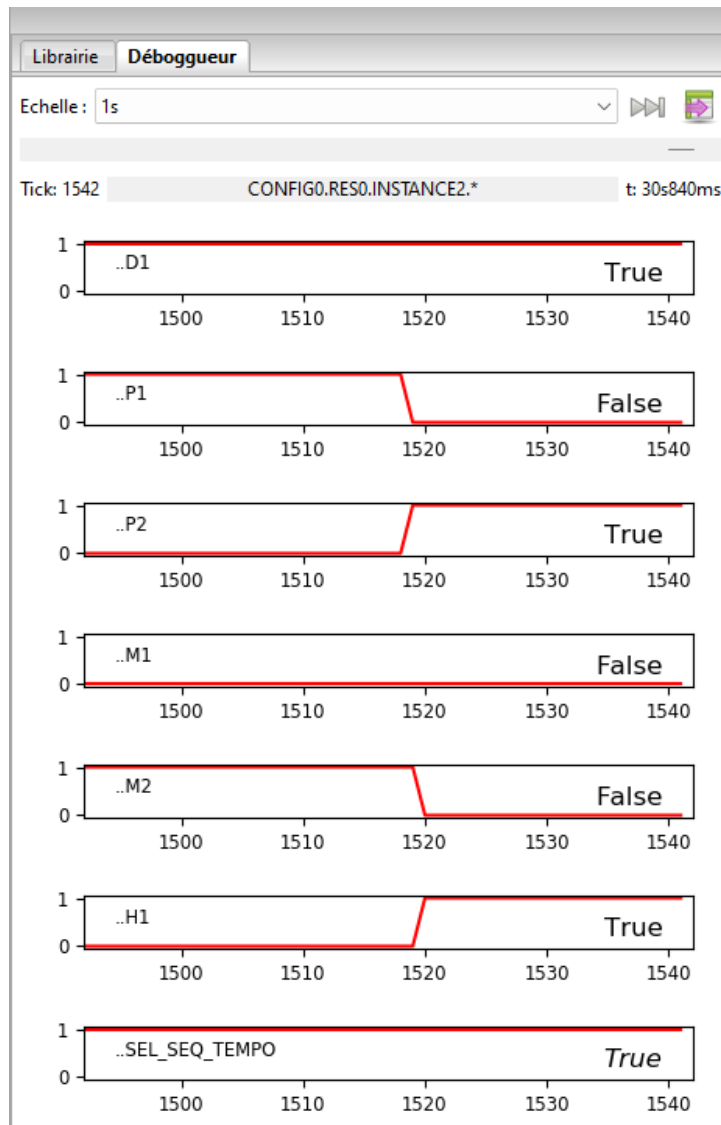


Figure 9: Chronogramme de la simulation du fonctionnement sur OpenPLC

Editor pour le problème « Système de chargement de camion »

OpenPLC Editor prend une image des valeurs contenue dans chacune des variables simulées à chaque intervalle à une fréquence de 50 Hz, soit 50 échantillons par seconde, mis en ordre chronologiquement par un marqueur « échantillon » qui s'incrémente d'une valeur de '1' et donc permet de retracer le comportement obtenu par rapport au temps. Les données obtenues sont alors enregistrées dans un fichier au format .txt. Nous obtenons ainsi un enregistrement des valeurs prises par les différentes variables à chaque instant.

Le tableau 2 ci-dessous montre la forme sous laquelle les données sont collectées. Notez ici la forme que prennent les données et comment elles sont liées par la colonne « échantillon » pour décrire leur évolution dans le temps. Nous observons qu'au premier échantillon toutes les variables sont à zéro, puis au cycle suivant, l'échantillon s'incrémente d'une unité et une lecture des valeurs de chaque variable est enregistrée. Les valeurs indiquées ci-dessous ne sont que des exemples et ne représente pas les données de lecture réelles.

**Tableau 2 Exemple de données collectées**

<b>Échantillon</b>	<b>D1</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>H1</b>	<b>SEQ_TEMPO</b>
<b>1</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>2</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
<b>3</b>	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
<b>4</b>	...	...	...	...	...	...	...

Les étapes d'acquisition de données sont réalisées pour une solution optimale ainsi que d'autres solutions alternatives, moins bonnes ou erronées.

### **3.3. Calcul des distances**

Dans cette section, nous allons nous concentrer sur l'approche utilisée pour détecter et mesurer la différence entre deux solutions pour un même problème. Compte tenu de la nature chronologique des données, nous avons utilisé la technique de déformation temporelle dynamique (DTW), sur Python, couramment utilisée pour mesurer la distance entre deux séries temporelles, dont par exemple pour traiter différentes vitesses de phrases prononcées dans une application de reconnaissance vocale.

#### **3.3.1. Principe de fonctionnement du DTW**

La déformation temporelle dynamique (DTW), largement utilisé, notamment pour la reconnaissance de la parole et la reconnaissance des gestes de l'humain, permet de comparer l'évolution de deux séquences dans le temps, ce qui peut être très avantageux pour l'évaluation des données collectées sur les variables internes de commandes séquentielles et continues lors du fonctionnement des systèmes.

Le principe de fonctionnement se décompose en quatre étapes qui sont décrites dans les prochains paragraphes.

En premier, nous définissons deux variables internes de la commande décrite en série temporelle discrète  $X(n)$  et  $Y(n)$  :

- $X(n) = [X1, X2, \dots, Xi]$
- $Y(n) = [Y1, Y2, \dots, Yj]$

**Étape 1 :** Nous créons une matrice de coût vide : les valeurs de la série  $X(n)$  seront représentées sur l'axe des ordonnées et celles prises par la série  $Y(n)$  représentées sur l'axe des abscisses comme suit :

$X_i$				
...				
$X_2$				
$X_1$				
	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_j$

**Étape 2 :** Nous remplissons la matrice des coûts en utilisant l'équation ci-dessous en partant du coin inférieur gauche [26] :

$$M(i, j) = |X(i) - Y(j)| + \min(M(i - 1, j - 1), M(i, j - 1), M(i - 1, j)), \quad (1)$$

avec :

$M$  la matrice,  $i$  l'échantillon de la série  $X$  et  $j$  l'échantillon de la série  $Y$ .



Ainsi, on obtient :

$X_i$	$M(i, 1)$	...	$M(i, j-1)$	$M(i, j)$
$X(i-1)$	$M(i-1, 1)$	...	$M(i-1, j-1)$	$M(i-1, j)$
...	...	...	...	...
$X_1$	$M(1, 1)$	...	$M(1, j-1)$	$M(1, j)$
	$Y_1$	...	$Y(j-1)$	$Y_j$

**Étape 3 :** Nous identifions le chemin de déformation en partant du coin supérieur droit. Ensuite, nous choisissons la case voisine avec la valeur minimale parmi les trois possibilités, en suivant toujours la direction vers le coin inférieur gauche. Ce processus est répété jusqu'à atteindre le coin inférieur gauche. La somme des valeurs contenues dans chacune des cases traversées par le chemin de déformation dans la matrice des coûts représente la distance de déformation.

$X_i$	$M(i, 1)$	...	$M(i, j-1)$	$M(i, j)$
$X(i-1)$	$M(i-1, 1)$	...	$M(i-1, j-1)$	$M(i-1, j)$
...	...	...	...	...
$X_1$	$M(1, 1)$	...	$M(1, j-1)$	$M(1, j)$
	$Y_1$	...	$Y(j-1)$	$Y_j$

### **3.3.2. Mesure des distances par DTW**

Pour chaque problème en automatisation, nous avons collecté des données sur plusieurs solutions (solution optimale, moins bonnes, erronées, etc.). Nous utilisons la solution optimale comme référence et appliquons le DTW pour calculer les distances de déformation pour chaque solution alternative.

### **3.4. Prédiction de la note de performance**

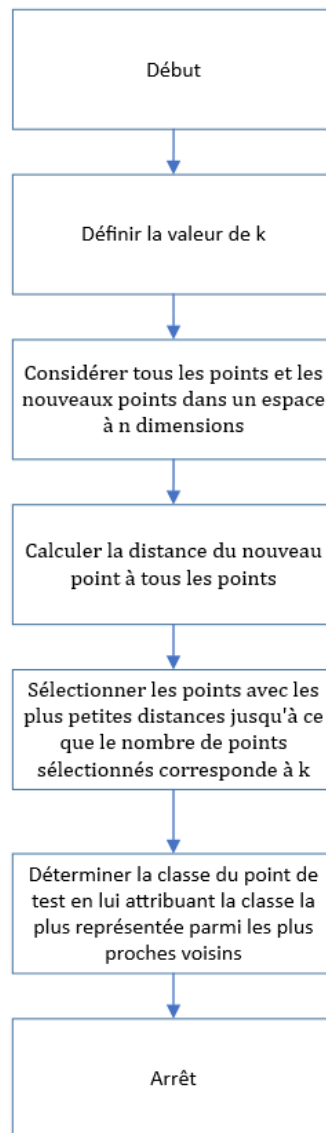
Nous avons demandé à un expert de corriger des solutions aux problèmes de commandes de procédés industriels. Pour chaque problème, la solution optimale et plusieurs solutions alternatives ont été soumises à l'expert pour l'attribution d'une note reflétant la qualité de la mise en œuvre sur une échelle (A, B, C, D, E) avec (A) étant la note la plus élevée et (E) la note la plus basse. Ces notes sont ensuite enregistrées et attachées aux distances de déformations de chaque solution et appelées « Score ». Pour de futures acquisitions de données, c'est ce « Score » qu'il faudra prédire pour connaître la qualité de la performance d'un système de commande industrielle. La méthode d'apprentissage supervisée des k plus proches voisins ou k-NN sera utilisée à cette fin.

#### **3.4.1. Principe de fonctionnement du k-NN**

L'algorithme k-NN identifie les k plus proches voisins en utilisant les distances de déformation fournies en entrée. En sortie, l'algorithme renvoie la classe à laquelle appartiennent les données d'entrée. Pour k supérieur à 1, l'algorithme cherche les k plus proches voisins de l'entrée dont on veut déterminer la classe et lui attribuer la classe la plus représentée parmi les plus

proches voisins. Pour  $k = 1$  l'espace est alors réparti entre les différentes classes et une classe est déterminée pour l'entrée, en fonction de l'espace où elle se trouve.

La figure 10 ci-dessous présente l'organigramme des étapes de fonctionnement du classificateur k-NN.



**Figure 10: Organigramme du fonctionnement du k-NN**

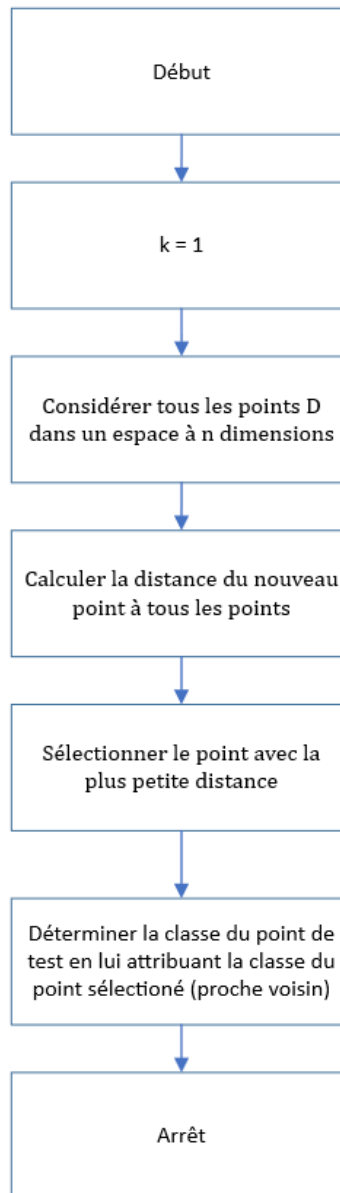
### **3.4.2. Prédiction d'une note de performance avec les k-NN**

Pour chaque problème, l'expert humain a corrigé la solution optimale ainsi que plusieurs solutions alternatives. Nous avons calculé les distances de déformation pour chaque solution en utilisant la solution optimale de chaque problème comme référence. Ensuite, nous avons associé les distances de déformation obtenues aux notes attribuées par l'expert humain.

Au total, il y a cinq notes différentes (A, B, C, D, E). Nous avons donc associé les distances de déformation à cinq classes correspondant à ces cinq notes différentes, afin de les utiliser comme données d'apprentissage pour le k-NN.

Avec un  $k = 1$ , l'espace est alors divisé en cinq, et pour de nouvelles distances de déformation, nous sommes capables de déterminer leur classe et donc d'évaluer la qualité de la performance.

La figure 11 présente l'organigramme des étapes de fonctionnement du classificateur k-NN, sur Python, pour  $k = 1$  et cinq classes (A, B, C, D, E) :



**Figure 11: Organigramme du fonctionnement du k-NN avec  $k=1$**

### **3.5. Validation expérimentale avec des participants**

Selon le diplôme, l'expertise et l'expérience dans le domaine de la commande industrielle, un test adapté est présenté au candidat souhaitant participer au projet de recherche. Il aura à répondre à une des trois questions techniques qui couvrent respectivement :

1. LADDER,
2. GRAFCET,
3. FBD.

#### **3.5.1. Pré-expérimentation**

Pour participer, le candidat doit dans un premier temps compléter les étapes suivantes (total de 45 minutes) :

1. lire, comprendre et accepter le contenu du formulaire d'information et de consentement, présenté à l'annexe 2 (15 minutes);
2. remplir un premier questionnaire socio-démographique (consulter l'annexe 3) portant sur l'âge, la nationalité, le niveau de scolarité, etc. (5 minutes);
3. remplir un second questionnaire portant sur l'autoévaluation des connaissances dans les commandes (consulter l'annexe 4), les actionneurs, les capteurs et les automates programmables industriels (5 minutes) et
4. lire et comprendre le tutoriel pour le fonctionnement de la plateforme d'évaluation en ligne présenté à l'annexe 8 (20 minutes).

Lorsque ces étapes sont complétées, un numéro d'identification (nommé code) est créé automatiquement et est soumis par courriel électronique au candidat. Ce code permet au candidat d'accéder à la plateforme d'évaluation en ligne tout en demeurant confidentiel. En effet, le code permet seulement de lier les questionnaires aux solutions développées sur le logiciel. Ce code ne permet pas d'identifier les participants.

### **3.5.2. Expérimentation**

Avec le code unique reçu par courriel électronique, le candidat peut accéder à la plateforme d'évaluation avec son ordinateur personnel à partir de son domicile au moment qu'il l'aura indiqué dans le questionnaire à la phase de pré-expérimentation précédente. Sur la plateforme d'évaluation, le candidat aura à répondre à une question de conception d'une commande en LADDER, en GRAFCET ou en FBD. Le candidat pourra réaliser l'évaluation en suivant les étapes fournies dans les tutoriels et à l'écran. Le temps alloué pour solutionner un problème est de 1h30.

Les paramètres de l'évaluation sont les suivants :

1. un correcteur automatique est exécuté lorsque le candidat est prêt, en appuyant sur F1, dans le logiciel de conception;
2. la cote résultante de cette correction, à la fin de la participation, doit être validée par un professeur expert dans le domaine et ne correspond pas nécessairement au résultat réel;

3. la cote générée dans le processus de cette recherche n'est pas éliminatoire et n'est pas utilisée dans le processus de sélection des candidats;
4. le processus de gestion des cotes dans le cadre de cette recherche est le même que celui du produit qui sera livré à la fin du projet de recherche : les cotes obtenues par les candidats lors de ce projet de recherche sont transmises à TalenTech et
5. la cote et les solutions aux problèmes de chaque candidat sont transmises à TalenTech et à l'équipe de recherche afin d'optimiser la cote associée aux solutions.

### **3.5.3. Post-expérimentation**

Dans cette dernière phase, le candidat aura à évaluer la plateforme et nous informer de ses commentaires sur son utilisation. Des questions lui seront posées sur l'effort requis pour résoudre les problèmes et réaliser la solution sur la plateforme, la charge cognitive et la charge temporelle. Ce questionnaire, présenté à l'annexe 5, prend environ 10 minutes à remplir.



### 3.6. Discussion

Nous avons présenté dans ce chapitre la méthodologie et la démarche suivie pour la prédiction d'un score reflétant la qualité de la solution à des commandes de procédés industriels pour des problèmes en automatisation. Nous avons reproduit ces étapes pour tous les problèmes traités afin de permettre la détermination de la performance sur de nouvelles solutions.

Les étapes se résument comme suit :

- **acquisition de données** : réalisé par une simulation de la solution du participant sur le logiciel OpenPLC Editor dédié à la conception assistée par ordinateur (CAO) pour des automates programmables industriels ;
- **calcul des distances** : estimé par la technique DTW pour le calcul des distances et
- **prédiction d'une note sur la performance de la solution** : classifié par la méthode d'apprentissage supervisé k-NN avec  $k = 1$  qui permet d'attribuer une classe (A, B, C, D, E) aux distances de déformation fournies en entrée.

Nous avons également décrit la procédure d'utilisation du système par un participant qui souhaite compléter une évaluation de sa solution à l'un des problèmes d'automatisation. Par la suite, nous avons décomposé le déroulement en trois phases : 1) la phase de pré-expérimentation, 2) la phase d'expérimentation et enfin 3) la phase post-expérimentation.

Dans le chapitre suivant, nous observerons les résultats recueillis en suivant cette méthodologie.

## Chapitre 4 : Résultats et discussions

### 4.1. Introduction

Dans cette section, nous présentons les résultats sur les prédictions des notes (lettre : A, B, C, D, E) sous forme de matrices de confusion puis en calculant la précision, c'est-à-dire le nombre de notes correctement prédites par rapport au nombre total de notes.

La matrice de confusion met en relation la classe réelle avec la classe estimée pour ressortir la précision du système lors de l'attribution d'une note. Chaque ligne représente une classe réelle et chaque colonne représente une classe estimée. Les résultats incluent les solutions soumises par les candidats pour l'attribution d'une note ainsi que cinq solutions déjà notées, à savoir la solution jugée idéale par l'expert, pour la classe 'A', et quatre solutions de plus en plus biaisées correspondant aux notes ou classes 'B, C, D et E'.

Les matrices de confusion pour chaque exercice sont présentées en premier, puis une matrice de confusion combinant tous les résultats est présentée ensuite.

Les résultats des matrices de confusion sont utilisés pour calculer la précision. Étant donnée des matrices de confusion avec plus de deux classes, la précision peut être calculée pour chaque classe.

La précision est calculée comme suit :

$$Précision (i) = \frac{TP(i)}{TP(i)+FP(i)} \quad (2)$$

avec :

i, la classe pour laquelle la précision est calculée, TP, les vrais positifs et FP les faux positifs.

Le tableau 3 ci-dessous montre la liste des exercices ainsi que le nombre de candidat ayant tenté de les résoudre. Au total, dix candidats ont proposé des solutions. Certains candidats ont proposé plusieurs solutions pour un même exercice, tandis que d'autres candidat ont proposée des solutions pour plusieurs exercices.

**Tableau 3 Nombre de solutions par problème**

<b>Exercice</b>	<b>Niveau de difficulté</b>	<b>Compétence testée</b>	<b>Nombre de candidats</b>	<b>Nombre de solutions</b>
Systeme de chargement de camion	Débutant	LADDER	3	14
Systeme automatisé d'un escalier mobile	Débutant	LADDER	2	7

Système de perçage	Débutant	LADDER	2	7
Système de remplissage de flacons	Intermédiaire	GRAFCET	2	7
Synchronisation du chargement d'un plateau avec le chargement d'une palette	Intermédiaire	GRAFCET	2	7
Système automatisé de deux postes d'emballage	Intermédiaire	GRAFCET	3	11
Système de temporisation à enclenchement	Expert	FBD	3	8

## 4.2. Résultats

Le calcul des distances de déformation est une étape intermédiaire pour définir les classes de notes pour les solutions et ce calcul est répété à chaque fois qu'un exercice est soumis au système pour évaluation.

Nous utilisons l'exemple du « système de chargement de camion », présenté à la section (3.2.), pour visualiser le fonctionnement du DTW utilisé pour calculer les distances de déformation avant la prédiction de la note. Par la suite, nous présentons les résultats obtenus, d'abord sous forme de matrices de confusion et de précision pour chaque exercice individuellement, puis de nouveau en combinant tous les résultats sous forme d'une matrice de confusion globale et d'une précision globale.

### 4.2.1. Distance de déformation

Le calcul des distances de déformation est une étape intermédiaire pour définir les classes de notes pour les solutions et ce calcul est répété à chaque fois qu'un exercice est soumis au système pour évaluation. Les distances calculées sont utilisées par le k-NN pour définir la classe à laquelle appartient la solution proposée.

Le fonctionnement souhaité pour ce problème, présenté à la section (3.2.), est réitéré ici :

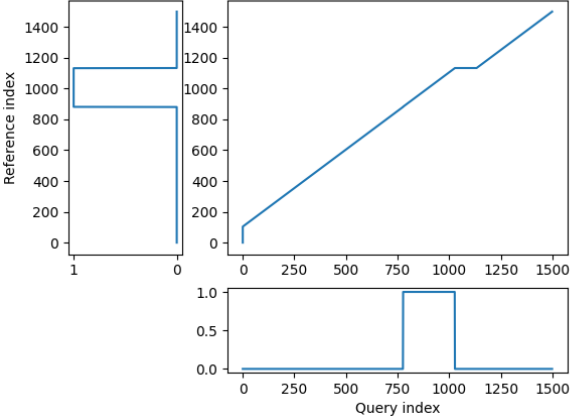
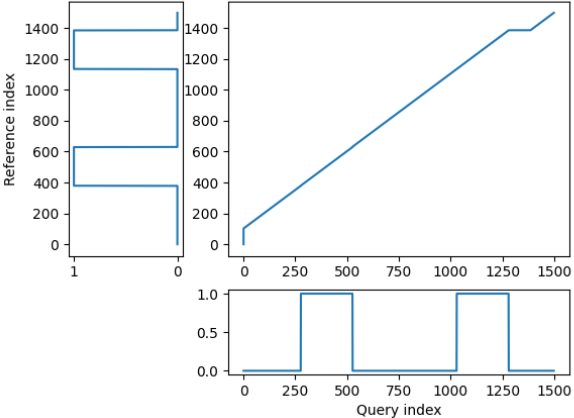
- Un camion vide arrive en faisant marche arrière, il active le détecteur de présence **d1** qui provoque le démarrage du tapis 1 (**moteur M1**) et du tapis 2 (**moteur M2**).

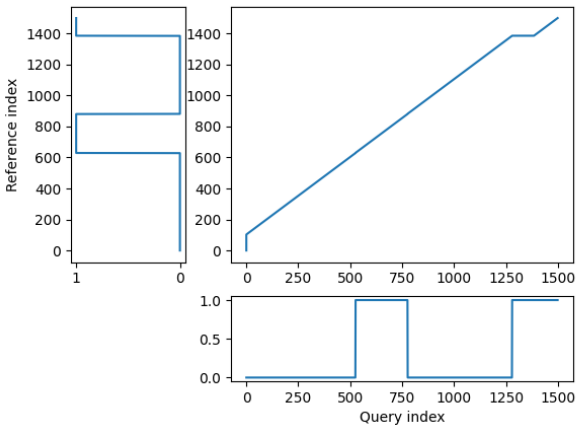
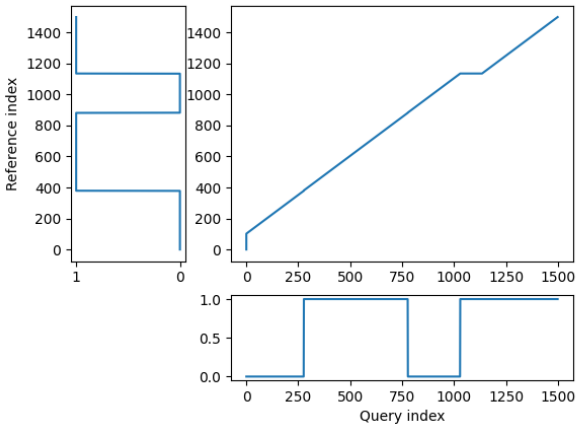
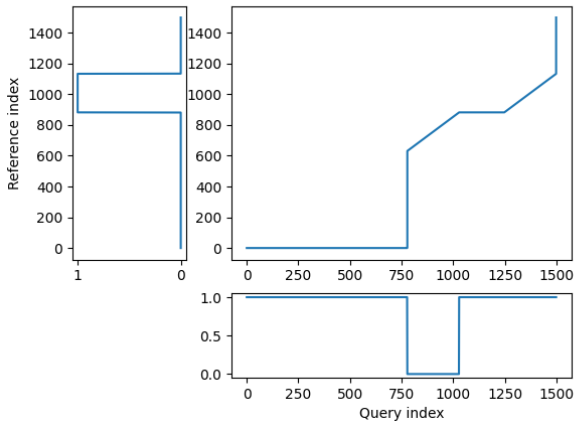
- Le camion est placé sur un système de pesée (en contact avec **d1**). Quand le camion est en partie chargé, l'action de la plateforme sur le détecteur **p1** doit stopper le tapis 1 et maintenir le tapis 2 en action.
- Le tapis 2 continue de fonctionner jusqu'à l'activation du détecteur **p2**. Le voyant **H1** s'allume pour signaler que le chargement est terminé.

Afin de visualiser les déformations obtenues avec le DTW, la solution traitée ci-dessous contient une erreur sur la commande du tapis 2 (**moteur M2**). L'erreur est la suivante : le tapis 2 est en marche quand il devrait être arrêté, et arrêté quand il devrait être en marche.

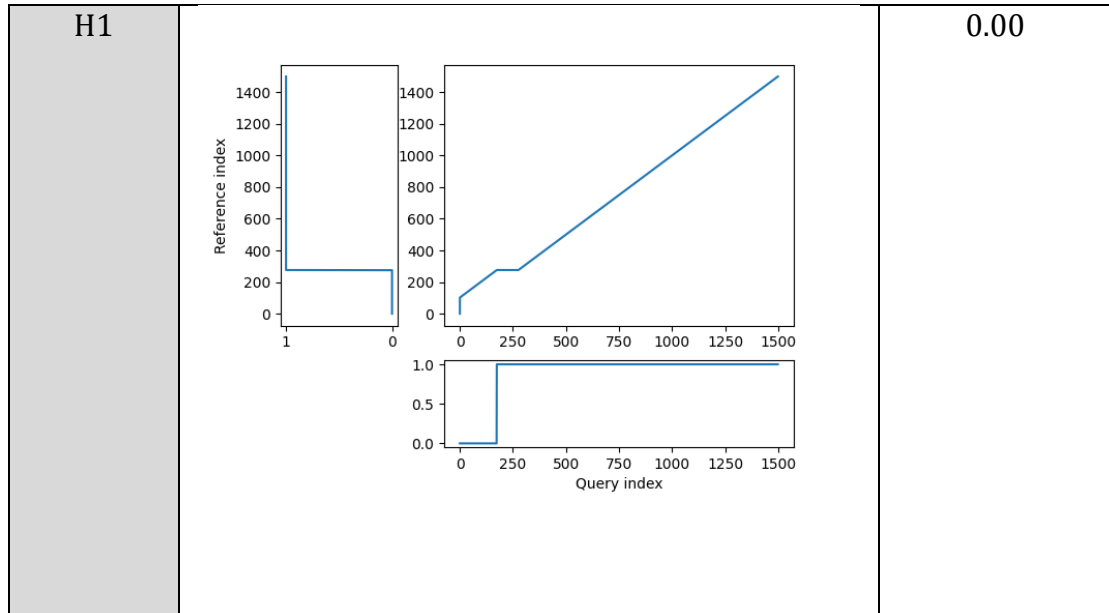
Le tableau ci-dessous montre les courbes obtenues lors de l'utilisation du DTW pour le calcul des distances de déformation pour les variables du problème.

**Tableau 4 Déformation temporelle dynamique pour le problème « Système de chargement de camion »**

Variable	Déformation temporelle dynamique (DTW)	Distances de déformation
D1	 <p>The figure for D1 consists of three subplots. The top-left plot shows a step function for the Reference index, with values around 1100, 900, and 1400. The top-right plot shows the DTW alignment between the reference and query sequences, with a diagonal line indicating a strong match. The bottom plot shows a binary function for the Query index, with a single pulse of 1.0 between indices 750 and 1000.</p>	0.00
P1	 <p>The figure for P1 consists of three subplots. The top-left plot shows a step function for the Reference index, with values around 1300, 600, and 400. The top-right plot shows the DTW alignment between the reference and query sequences, with a diagonal line indicating a strong match. The bottom plot shows a binary function for the Query index, with two pulses of 1.0 between indices 250-500 and 1000-1250.</p>	0.00

<p>P2</p>	 <p>The figure for P2 contains three subplots. The top-left plot shows a step function with three levels: approximately 1400, 850, and 600, over a range from 1 to 0. The top-right plot shows a linear ramp from 0 to 1400 over a query index from 0 to 1500. The bottom plot shows a binary signal that is 0 for most of the range, with three pulses reaching 1.0 at query indices approximately 500, 750, and 1300.</p>	<p>0.00</p>
<p>M1</p>	 <p>The figure for M1 contains three subplots. The top-left plot shows a step function with three levels: approximately 1150, 850, and 400, over a range from 1 to 0. The top-right plot shows a linear ramp from 0 to 1400 over a query index from 0 to 1500. The bottom plot shows a binary signal that is 0 for most of the range, with three pulses reaching 1.0 at query indices approximately 250, 750, and 1000.</p>	<p>0.00</p>
<p>M2</p>	 <p>The figure for M2 contains three subplots. The top-left plot shows a step function with three levels: approximately 1100, 850, and 0, over a range from 1 to 0. The top-right plot shows a piecewise linear ramp that starts at 0, jumps to 600 at query index 750, then rises to 850 at index 1000, stays flat until index 1250, and finally rises to 1400 at index 1500. The bottom plot shows a binary signal that is 1.0 for most of the range, with a single pulse reaching 0.0 at query index 750.</p>	<p>1144.00</p>





Le chemin de déformation allant du coin supérieur droit au coin inférieur gauche est presque linéaire et suit le chemin le plus court, soit la diagonale, pour cinq des six variables. La courbe de déformation pour la variable **M2** n'est pas linéaire, ce qui se traduit par une grande distance de déformation. Ces distances sont soumises au k-NN qui définit la classe (A, B, C, D, E) à laquelle appartient la solution proposée.

#### 4.2.2. Matrices de confusion

Le tableau 5 ci-dessous présente les matrices de confusion pour l'ensemble des solutions notées pour chacun des problèmes.

**Tableau 5 Matrices de confusion**

Système de chargement de camion						Système automatisé d'un escalier mobile					
<b>A</b>	3					<b>A</b>	2				
<b>B</b>		3	1			<b>B</b>		1			
<b>C</b>			3			<b>C</b>			2		
<b>D</b>				2		<b>D</b>				1	
<b>E</b>					2	<b>E</b>					1
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Système de perçage						Système de remplissage de flacons					
<b>A</b>	1					<b>A</b>	1				
<b>B</b>		1				<b>B</b>	1	1	1		
<b>C</b>			1			<b>C</b>			1		
<b>D</b>		1		2		<b>D</b>				1	
<b>E</b>					1	<b>E</b>					1
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>

Synchronisation du chargement d'un plateau avec le chargement d'une palette						Système automatisé de deux postes d'emballage					
<b>A</b>	1					<b>A</b>	3				
<b>B</b>		1				<b>B</b>	1	2			
<b>C</b>			1			<b>C</b>			2		
<b>D</b>				1		<b>D</b>				2	
<b>E</b>				1	2	<b>E</b>					1
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
<b>Système de temporisation à enclenchement</b>											
<b>A</b>	2										
<b>B</b>		1									
<b>C</b>		1	2								
<b>D</b>				1							
<b>E</b>					1						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>						

### 4.2.3. Précisions

Le tableau 6 ci-dessous présente les précisions pour chaque classe pour chacun des problèmes. Les précisions sont calculées à partir des matrices de confusion correspondantes en utilisant l'équation (2).

**Tableau 6 Précisions**

Système de chargement de camion				Système automatisé d'un escalier mobile			
Classe	Vrais positifs (TP)	Faux positifs (FP)	Précision	Classe	Vrais positifs (TP)	Faux positifs (FP)	Précision
A	3	0	100%	A	2	0	100%
B	3	0	100%	B	1	0	100%
C	3	1	75%	C	2	0	100%
D	2	0	100%	D	1	0	100%
E	2	0	100%	E	1	0	100%
Système de perçage				Système de remplissage de flacons			
Classe	Vrais positifs (TP)	Faux positifs (FP)	Précision	Classe	Vrais positifs (TP)	Faux positifs (FP)	Précision
A	1	0	100%	A	1	1	50%
B	1	1	50%	B	1	0	100%
C	1	0	100%	C	1	1	50%
D	2	0	100%	D	1	0	100%
E	1	0	100%	E	1	0	100%

Synchronisation du chargement d'un plateau avec le chargement d'une palette				Système automatisé de deux postes d'emballage			
Classe	Vrais positifs (TP)	Faux positifs (FP)	Précision	Classe	Vrais positifs (TP)	Faux positifs (FP)	Précision
A	1	0	100%	A	3	1	75%
B	1	0	100%	B	2	0	100%
C	1	0	100%	C	2	0	100%
D	1	1	50%	D	2	0	100%
E	2	0	100%	E	1	0	100%
Système de temporisation à enclenchement							
Classe	Vrais positifs (TP)	Faux positifs (FP)	Précision				
A	2	0	100%				
B	1	1	50%				
C	2	0	100%				
D	1	0	100%				
E	1	0	100%				

#### 4.2.4. Résultats globaux

Le tableau 7 ci-dessous présente la matrice de confusion regroupant les résultats pour les sept problèmes. Chaque ligne représente une classe réelle et chaque colonne représente une classe estimée.

**Tableau 7 Matrice de confusion des scores de performance pour tous les problèmes**

<b>A</b>	13				
<b>B</b>	2	10	2		
<b>C</b>		1	12		
<b>D</b>		1		10	
<b>E</b>				1	9
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>

On remarque que sept solutions ont été placées dans de mauvaises classes. Cela peut avoir plusieurs causes, telles que le chevauchement de classes où les distances de déformation pour différentes classes se chevauchent ou sont moins bien séparées, ce qui peut introduire des erreurs et réduire la précision. Le chevauchement de classes se produit lorsque les points de données appartenant à différentes classes ne sont pas bien séparés ou distincts, rendant difficile la classification précise par l'algorithme de classification.

Le tableau 8 ci-dessous présente les résultats de précision pour les sept problèmes.

**Tableau 8 Précision globale pour tous les problèmes**

<b>Classe</b>	<b>Vrais positifs (TP)</b>	<b>Faux positifs (FP)</b>	<b>Précision</b>
<b>A</b>	13	2	86.7%
<b>B</b>	10	2	83.3%
<b>C</b>	12	2	85.7%
<b>D</b>	10	1	90.9%
<b>E</b>	9	0	100%

Le système prédit la bonne note dans 88.5% des cas traités. Il convient de souligner que la correction effectuée par un expert n'est pas toujours exacte et que l'évaluation de la performance de la commande peut varier d'un expert à l'autre ce qui peut avoir un impact négatif sur la précision.

### **4.3. Participants**

Les expérimentations auprès des candidats ont permis d'améliorer le système, car en plus des résultats présentés ici, sous forme de matrice de confusion, les candidats ont également rempli plusieurs questionnaires, ce qui a permis de recueillir des informations qualitatives et quantitatives sur les utilisations pratiques.

En tout, cinquante-quatre personnes ont été sollicitées pour participer au projet. Dix ont passé le test et ont fourni des solutions aux différents exercices, sept participants ont complété la totalité des étapes, y compris tous les questionnaires.

Le nombre limité de participants a résulté en un faible nombre de solutions proposées pour les différents problèmes. Ainsi, l'algorithme d'apprentissage automatique supervisé (k-NN) a moins d'exemples d'apprentissage que souhaité, ce qui a pu avoir un impact négatif sur la précision des notes prédites.

Les participants étaient d'un niveau varié en automatisation, allant de novice à expert, ce qui a permis d'éviter d'obtenir des solutions similaires et ainsi d'éviter le cas de surapprentissage.

#### 4.3.1. Données Socio-démographiques

Le tableau 9 ci-dessous résume les informations pertinentes recueillies dans les questionnaires socio-démographiques remplis par les participants (annexe 6).

**Tableau 9 Résultats du questionnaire socio-démographique**

Question	Réponse	Nombre de candidats
<b>Quel est votre pays de résidence ?</b>	Canada	3
	Tunisie	4
	Algérie	1
	Allemagne	1



	Guinée	1
<b>Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?</b>	21 à 29	5
	30 à 39	4
	40 à 49	1
<b>Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?</b>	Équivalents du baccalauréat québécois (15 à 16 ans d'études)	4
	Équivalents de la maîtrise québécoise ou du doctorat québécois (Plus de 17 ans d'études)	5
<b>Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?</b>	Aucune expérience dans le domaine	1
	Expérience sous forme de connaissances accumulées lors du cursus académique	5
	Moins de deux ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine	2
	Cinq à neuf ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine	2

### 4.3.2. Autoévaluation des connaissances

Le formulaire d'autoévaluation a permis de classer les dix participants en cinq niveaux de connaissance en automatisation. En prenant la moyenne des réponses fournies par chaque participant dans le questionnaire d'autoévaluation (annexe 6), cela a permis de les classer par rapport à leur niveau déclaré de connaissance en automatisation. Le niveau de connaissance estimé à partir du questionnaire d'autoévaluation est ensuite mis en relation avec la note attribuée par l'évaluation automatique des solutions soumises par le participant.

Le tableau 10 ci-dessous présente le niveau de connaissance en automatisation déclaré par les participants (Annexe 6), ainsi que la moyenne des scores attribués par l'évaluation automatique sur les solutions soumises pour chaque participant.

**Tableau 10 Niveau de connaissance déclaré et évaluation automatique**

ID de la réponse	Niveau de connaissance	Moyenne sur l'ensemble des solutions proposées
1	Notions avancées (4)	B
2	Notions intermédiaires (3)	D
3	Notions avancées (4)	A
14	Notions de base (1)	B

<b>17</b>	Notions intermédiaires (3)	C
<b>20</b>	Notions de base (1)	C
<b>22</b>	Notions avancées (4)	A
<b>26</b>	Notions intermédiaires (3)	E
<b>29</b>	Notions intermédiaires (3)	C
<b>32</b>	Notions de base (1)	D

### 4.3.3. Post-expérimentation

La dernière étape de l'expérimentation a été de remplir le formulaire post-expérimentation (annexe 7). Le tableau 11 ci-dessous présente la moyenne des réponses de tous les participants à chaque question. Cela a permis d'obtenir une rétroaction des participants sur plusieurs aspects de l'expérimentation, tels que l'utilisabilité, l'effort et la charge cognitive, la frustration et le stress ainsi que la charge physique et temporelle.

**Tableau 11 Résultats du questionnaire post-expérimentation**

<b>Question</b>	<b>Moyenne sur l'ensemble des réponses</b>
<b>Utilisabilité [La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel]</b>	Tout à fait d'accord (5)
<b>Utilisabilité [Utilisation intuitive de la plateforme en ligne]</b>	Tout à fait d'accord (5)
<b>Utilisabilité [Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation]</b>	Plutôt d'accord (4)

<b>Utilisabilité [Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de conception des commandes]</b>	Plutôt d'accord (4)
<b>Utilisabilité [J'ai effectué efficacement les tâches demandées]</b>	Plutôt d'accord (4)
<b>Effort et charge cognitive [L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile]</b>	Plutôt d'accord (4)
<b>Effort et charge cognitive [La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate]</b>	Plutôt d'accord (4)
<b>Effort et charge cognitive [Les questions techniques étaient faciles à interpréter]</b>	Plutôt d'accord (4)
<b>Frustration et stress [Je me sentais à l'aise d'utiliser la plateforme en ligne]</b>	Plutôt d'accord (4)
<b>Frustration et stress [Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne]</b>	Plutôt en désaccord (2)
<b>Frustration et stress [Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne]</b>	Ni d'accord ni en désaccord (3)

<b>Frustration et stress [Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne]</b>	Ni d'accord ni en désaccord (3)
<b>Frustration et stress [J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation]</b>	Plutôt d'accord (4)
<b>Charge physique et temporelle [La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps]</b>	Ni d'accord ni en désaccord (3)
<b>Charge physique et temporelle [Je me suis senti tendu au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne]</b>	Plutôt en désaccord (2)

#### 4.4. Discussion

Notre étude a mis l'accent sur l'utilisation d'une combinaison de deux méthodes, soient la déformation temporelle dynamique (DTW) et les k-plus proches voisins (k-NN), pour la conception d'un système d'auto-évaluation des connaissances avancées sur une plateforme de conception assistée par ordinateur pour des commandes séquentielles. En effet, l'utilisation du DTW seul ne permet pas d'évaluer la qualité de la programmation des commandes de procédés industriels, car les erreurs mineures génèrent des distances aussi grandes que les erreurs majeures et bien plus importantes (en termes de conséquences physiques) sur les procédés industriels. Ainsi, le DTW se limite à calculer des distances en comparant des chronogrammes de fonctionnement parfait avec ceux obtenus par la conception à évaluer. Toutefois, après avoir attribué des scores de performance à différentes programmations de commandes de procédés industriels par un expert, les k-NN sont utilisés pour lier les distances obtenues sur les chronogrammes des différentes variables d'un problème d'automatisation avec une note associée à la performance d'une solution. Ainsi, les k-NN permettent d'obtenir une note élevée pour une grande distance générée par une erreur mineure et un score bas pour une grande distance générée par une erreur majeure.

Une fois la combinaison des deux méthodes en place, nous avons évalué les résultats en considérant une matrice de confusion où les lignes représentent les classes réelles et les colonnes représentent les classes estimées, les classes sont (A, B, C, D, E) et correspondent aux scores de performance avec (A) étant le

meilleur score et (E) étant le score le plus bas. La solution a ensuite été testée sur des candidats ayant des niveaux de connaissances variables dans le domaine de l'automatisation. Le système a réussi à attribuer des notes précises à la solution de la commande soumise par les candidats. En effet, la matrice de confusion reflète cette précision sur l'évaluation et la notation par le système. En observant la matrice de confusion, présentée dans le tableau 7, on constate que le système prédit la bonne note dans 88.5% des cas traités. Le système permet donc l'estimation d'une note ou un score pour une solution à des commandes de procédés industriels avec une bonne précision.

La méthodologie utilisée semble adéquate et a conduit à des résultats intéressants, bien que quelques imprécisions puissent être observées dans les résultats. Il est évident que le nombre de participants a une incidence directe sur l'entraînement et le résultat final ainsi que le chevauchement de classes où les distances de déformation pour différentes classes sont moins bien séparées, ce qui peut introduire des erreurs et réduire la précision. Il est également à noter que la correction par un expert n'est pas exacte non plus et que la note attribuée à la performance de la commande peut varier d'un expert à l'autre. Il existe des biais de correction et certaines interprétations peuvent être faites qui peuvent également conduire à une note différente de celle attendue.



## **Chapitre 5 : Conclusion**

### **5.1. Conclusion**

Nous présentons une solution pour l'auto-évaluation des connaissances avancées sur une plateforme de conception assistée par ordinateur pour des commandes de procédés industriels. Considérant les contraintes d'évaluation, il a été requis de créer, de concevoir et de réaliser un système pouvant simuler la dynamique du procédé et ses différentes commandes, de calculer les distances de divergence d'une solution en utilisant les états internes avec des chronogrammes et en faisant le lien entre les distances et les scores de performance. Contrairement aux systèmes d'évaluation et de notation automatisé disponible pour évaluer les compétences de programmation dans un langage de programmation comme Java, C/C++ et les script MatLAB, et qui sont difficilement applicables dans le domaine de l'automatisation industrielle, ce travail de recherche a proposé une solution qui combine la méthode DTW et la méthode k-NN, sur Python, pour prédire un score de performance qui représente la qualité d'une programmation des commandes de procédés industriels. Grâce au DTW utilisé pour estimer des distances de divergence en comparant des chronogrammes de fonctionnement idéaux avec ceux obtenus par la conception à évaluer et au k-NN utilisé pour prédire les classes des notes liées à la performance de la solution à partir des distances obtenues par le DTW, la solution permet

d'obtenir une note reflétant la qualité de la programmation des commandes de procédés industriels dans 88.5% des cas traités.

La méthodologie utilisée dans notre étude s'est avérée appropriée et a généré des résultats intéressants. Cependant, il est important de souligner que le nombre de participants influence directement l'entraînement et le résultat final. Un autre facteur qui peut influencer les résultats est le chevauchement de classes, qui se produit lorsque les points de données appartenant à différentes classes ne sont pas parfaitement distincts, rendant ainsi difficile la classification précise par l'algorithme de classification. De même, l'évaluation et la notation, même pour un expert, sont des tâches complexes sujettes à une certaine subjectivité et interprétation. Elles ne se limitent pas uniquement à des aspects quantitatifs, mais comprennent également des éléments qualitatifs. Ainsi, la qualité de l'évaluation ne se résume pas uniquement à un taux de classification, mais elle inclut également une variabilité dans le taux de classification.

Ce projet de recherche a finalement réussi à proposer une solution combinant deux méthodes (DTW, k-NN) pour l'auto-évaluation des connaissances avancées sur une plateforme de conception assistée par ordinateur pour des commandes de procédés industriels dans l'objectif d'évaluer la performance d'une solution d'une conception des commandes de procédés industriels.

## 5.2. Recommandations

Bien que le système d'évaluation automatique traité dans ce projet permette d'obtenir une note reflétant la qualité de la programmation des commandes de procédés industriels dans 88.5% des cas traités, il est pertinent de noter que l'algorithme d'apprentissage automatique supervisé utilise des solutions de référence dont la note a été fixée par un seul expert. L'avis d'un deuxième ou même de plusieurs autres experts serait recommandé pour augmenter la précision des notes attribuées aux solutions de référence et ainsi améliorer la pertinence des notes attribuées par le système.

De plus, le projet présente l'évaluation d'une conception des commandes de procédés industriels basée purement sur les données obtenues par les chronogrammes. Une autre recommandation serait d'inclure une deuxième condition pour l'évaluation des solutions par le système, comme la simplification de la logique combinatoire (table de Karnaugh), afin d'interpréter l'exactitude des solutions proposées.

Finalement, davantage de données devraient être collectées car cela permettrait d'augmenter la diversité des solutions traitées par le système. Il serait également intéressant d'obtenir des données réelles provenant de systèmes d'automatisation utilisés dans des entreprises, afin de pousser le projet plus loin, par exemple, pour la détection en temps réel d'un fonctionnement non optimal.

## LISTE DES RÉFÉRENCES

1. Striewe, M., M. Balz, and M. Goedicke. *A Flexible and Modular Software Architecture for Computer Aided Assessments and Automated Marking*. in *CSEDU (2)*. 2009.
2. REAI *Portrait 2019 La fabrication de pointe au Québec*. 2019.
3. Hrkút, P., et al. *Increasing K-means clustering algorithm effectivity for using in source code plagiarism detection*. in *International Conference on Smart Technologies, Systems and Applications*. 2019. Springer.
4. Otto, H.E. and F. Mandorli, *Parametric feature-based solid model deficiency identification to support learning outcomes assessment in CAD education*. *Comput. Aided Des. Appl*, 2021. **18**(2): p. 411-442.
5. Hammouri, H., M. Kinnaert, and E. El Yaagoubi, *Observer-based approach to fault detection and isolation for nonlinear systems*. *IEEE transactions on automatic control*, 1999. **44**(10): p. 1879-1884.
6. Zhang, Z.-H., et al., *Sliding mode switching observer-based actuator fault detection and isolation for a class of uncertain systems*. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 2019. **33**: p. 322-335.
7. Delgado-Pérez, P. and I. Medina-Bulo, *Customizable and scalable automated assessment of C/C++ programming assignments*. *Computer applications in engineering education*, 2020. **28**(6): p. 1449-1466.
8. Bye, R.T., *MATLAB Grader Test Generator*. 2020.
9. Birch, G., B. Fischer, and M. Poppleton, *Fast test suite-driven model-based fault localisation with application to pinpointing defects in student programs*. *Software & Systems Modeling*, 2019. **18**(1): p. 445-471.
10. Liu, X., et al. *Automatic grading of programming assignments: an approach based on formal semantics*. in *2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training (ICSE-SEET)*. 2019. IEEE.
11. Srikant, S. and V. Aggarwal. *A system to grade computer programming skills using machine learning*. in *Proceedings of the 20th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. 2014.

12. Hsieh, S.-J. and Y.-T. Cheng, *Algorithm and intelligent tutoring system design for programmable controller programming*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2014. **71**(5): p. 1099-1115.
13. Garikano, X., et al., *Strategic knowledge-based approach for CAD modelling learning*. International journal of technology and design education, 2019. **29**(4): p. 947-959.
14. Aria, M., et al. *Virtual Simulation System with Various Examples and Analysis Tools for Programmable Logic Controller Training*. in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. IOP Publishing.
15. Wang, X. *Construction of Civil Engineering Teaching System Based on Data Mining Algorithm and Big Data Technology*. in *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. IOP Publishing.
16. Hultman, E. and M. Leijon. *Integration of real-world project tasks in a course on automation and robot engineering*. in *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*. 2019. IEEE.
17. Jain, A., Mao, j. & Mohiuddin, KM (1996). *Artificial Neural Networks: A Tutorial*, The.
18. bin Rodzman, S.B., et al., *I-ONAr: A rule-based machine learning approach for intelligent assessment in an online learning environment*. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2020. **17**(2): p. 1021-1028.
19. Mousavinasab, E., et al., *Intelligent tutoring systems: a systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods*. Interactive Learning Environments, 2021. **29**(1): p. 142-163.
20. Jaakma, K. and P. Kiviluoma, *Auto-assessment tools for mechanical computer aided design education*. Heliyon, 2019. **5**(10): p. e02622.
21. Purohit, V.K., et al. *Design of adaptive question bank development and management system*. in *2012 2nd IEEE International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing*. 2012. IEEE.
22. Kumar, A., et al., *Effective question modelling and intelligent question bank storage engine: an adaptive graph based approach*. International Journal of Knowledge and Learning, 2018. **12**(3): p. 204-220.

23. Rodrigues, H., L. Coheur, and E. Nyberg. *Improving question generation with the teacher's implicit feedback*. in *International Conference on Artificial Intelligence in Education*. 2018. Springer.
24. Kurdi, G., et al., *A systematic review of automatic question generation for educational purposes*. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 2020. **30**(1): p. 121-204.
25. ILARY, J.-P. *Programmation ST/LD/SFC sous OPENPLC*. 2021.
26. Giorgino, T., *Computing and visualizing dynamic time warping alignments in R: the dtw package*. *Journal of statistical Software*, 2009. **31**: p. 1-24.

## **ANNEXES**

### **Annexe 1 : Approbation éthique**

Ce mémoire a fait l'objet d'une certification d'approbation éthique.

**Numéro du certificat :** 2022-847

**Titre du projet de recherche :** Méthode d'évaluation des compétences dans la conception des commandes de procédés industriels avec des automates programmables industriels

## **Annexe 2 : Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation**

### **FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION**

***Ce formulaire d'information et de consentement a été approuvé le 2021-10-12 par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Chicoutimi (CER-UQAC). No de référence : 2022-847.***

*Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche intitulé : Quantification de la performance de la programmation des commandes de procédés industriels.*

*Cependant, avant de donner votre consentement pour participer à ce projet, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. De plus, nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable du projet ou aux autres membres affectés à ce projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.*

#### **1. Présentation des chercheurs**

##### **1.1 Responsable :**

Martin Otis, B.Ing., M.Sc.A., Ph.D., ing., professeur au DSA, UQAC.

##### **1.2 Co-chercheur :**

Younès Boulhercha, étudiant à la maîtrise en ingénierie

Claude Fillion, étudiant au doctorat en ingénierie

#### **2. Financement**

Le financement a été octroyé par MITACS, via le programme MITACS Accélération avec l'entreprise TalenTech et son représentant Gabriel Lajeunesse.

#### **3. Description du projet et objectif(s)**

##### **3.1 Description du projet**

Ce projet de recherche propose une expérimentation d'une nouvelle plateforme d'évaluation des compétences d'un ingénieur ou d'un technicien. Les compétences évaluées couvrent la conception d'une commande de procédés industriels en LADDER, en GRAFCET et en FBD. Cette plateforme en ligne contient un algorithme d'intelligence artificielle permettant de réaliser une notation.



La correction et la notation de la solution (cote: A, B, C, D, E) du candidat seront réalisées par les variables internes de la commande, soit en obtenant les chronogrammes (et les autres courbes temporelles) et en comparant les chronogrammes à un ensemble de solutions admissibles. Une technique qui sera investiguée est l'utilisation de la déformation temporelle dynamique par la mesure de similarité entre un ensemble de solutions et les chronogrammes produits par votre solution. À la fin du test, la cote produite n'a aucune signification puisque le projet de recherche est utilisé pour valider la correction et ajuster les paramètres de la correction.

### **3.2 Objectifs**

L'objectif directeur du projet est d'optimiser, de déterminer et de trouver l'algorithme le plus performant pour coter une solution et d'identifier les erreurs possibles en utilisant des variables internes mesurables dans les procédés industriels.

Les objectifs secondaires sont:

1. évaluer des méthodes en apprentissage machine afin d'évaluer et d'identifier des cotes de manière automatique à la solution proposée par le candidat;
2. réaliser une expérimentation avec des participants de manière à valider le processus de conception ainsi que les résultats obtenus;
3. valider que les cotes correspondent à un niveau de connaissances et
4. améliorer la plateforme d'évaluation en ligne et favoriser l'amélioration continue de la plateforme.

L'hypothèse est que la plateforme d'évaluation en ligne permettra d'évaluer de manière objective les compétences en automatisation industrielle après que les paramètres de la correction automatique soient ajustés.

## **4. Déroulement**

Selon votre diplôme, votre expertise et votre expérience dans le domaine de la commande industrielle, un test adapté sera généré par la plateforme. Vous aurez à répondre à trois questions techniques qui couvrent respectivement : 1) le LADDER, 2) le GRAFCET et 3) le FBD.

### **4.1 Phase de pré-expérimentation**

Pour participer à la présente étude, vous devez dans un premier temps compléter (total de 45 minutes) :

1. lire, comprendre et accepter le contenu du formulaire d'information et de consentement (15 minutes);
2. remplir un premier questionnaire socio-démographique portant sur l'âge, la nationalité, le niveau de scolarité, etc. (5 minutes);
3. remplir un second questionnaire portant sur votre autoévaluation de vos connaissances dans les commandes, les actionneurs, les capteurs et les automates programmables industriels (5 minutes);

- lire et comprendre les trois tutoriels destinés au fonctionnement de la plateforme d'évaluation en ligne (20 minutes);

Lorsque ces étapes seront complétées, un numéro d'identification (nommé code) sera créé automatiquement et affiché sur la page web. Ce code vous permettra d'accéder à la plateforme d'évaluation en ligne. Il permettra à l'équipe de recherche de réaliser un lien entre les données identificatoires (personnelles) et les différentes mesures. Le fichier permettant de lier le participant aux données mesurées sera chiffré (encryptions).

#### **4.2 Phase d'expérimentation**

Avec le code affiché sur la page web, vous pourrez accéder à la plateforme d'évaluation avec votre ordinateur personnel à partir de votre domicile au moment qu'il vous convient selon vos disponibilités. Ce code permet de demeurer anonyme. Sur la plateforme d'évaluation, vous aurez à répondre à trois questions de conception d'une commande en LADDER, en GRAFCET et en FBD. Vous pourrez réaliser l'évaluation en suivant les étapes fournies dans les tutoriels et à l'écran. Le temps alloué pour solutionner les trois problèmes est de 2h45.

Les paramètres de l'évaluation sont les suivants :

- un correcteur automatique est exécuté à chaque simulation réalisée dans le logiciel de conception;
- la cote résultante de cette correction, à la fin de la participation, doit être validée par un professeur expert dans le domaine et ne correspond pas nécessairement à votre résultat réel;
- la cote générée dans le processus de cette recherche n'est pas éliminatoire et n'est pas utilisée dans le processus de sélection des candidats;
- le processus de gestion des cotes dans le cadre de cette recherche est le même que celui du produit qui sera livré à la fin du projet de recherche : si vous participez au projet de recherche, les cotes sont transmises à TalenTech et
- la cote et vos solutions aux problèmes de l'examen sont transmises à l'équipe de recherche et à TalenTech dans les objectifs de déterminer les meilleurs algorithmes et d'optimiser la cote associée à vos solutions.

#### **4.3 Phase post-expérimentation**

Dans cette dernière phase, vous aurez à évaluer la plateforme et nous informer de vos commentaires sur son utilisation. Des questions vous seront posées sur l'effort requis pour résoudre les problèmes et réaliser la solution sur la plateforme, la charge cognitive et la charge temporelle. Ce questionnaire devrait prendre 10 minutes à remplir.

### **5. Risques et bénéfices**

#### **5.1 Risques**

Le projet de recherche n'entraîne pas de risque connu ou de désavantage prévisible pour vous, outre d'avoir à consacrer le temps nécessaire pour répondre

aux questions (estimé à 3h40 pour l'ensemble de la participation). Le projet a le même niveau de risque psychologique que celui associé à la réalisation d'un examen dans le cadre d'un cours au cégep ou à l'Université.

Le responsable de la recherche s'assure de conserver les données permettant de réaliser un lien entre les données identificatoires et les données mesurées chiffrées (encryptées).

De plus, les co-chercheurs de l'UQAC ne peuvent pas identifier les participants puisqu'ils n'ont pas accès aux données identificatoires.

Si le candidat postule sur la banque de candidatures, il accepte de participer au projet de recherche et de soumettre son CV à TalenTech. L'affiche du poste indique que cette banque de candidatures est dédiée à une recherche universitaire dont TalenTech peut l'utiliser pour transmettre les candidats adéquats à ses clients. Dans le processus de sélection, la cote n'est pas utilisée puisqu'au moment de ce projet de recherche, la cote n'a pas été validée par un professeur. De plus, les clients de l'entreprise TalenTech n'ont pas accès aux cotes des candidats. TalenTech sélectionne, dans la banque de candidats, ceux qui répondent le mieux aux besoins de ses clients en fonction des compétences décrites dans le CV. Le processus de sélection d'un candidat n'est pas sous la responsabilité du projet de recherche.

## **5.2 Bénéfices**

Votre candidature pourrait être retenue pour un poste au Québec, Canada.

La réalisation de cette évaluation vous permettra d'améliorer vos connaissances dans le domaine et de vous pratiquer pour d'autres examens d'embauche.

Vous aurez accès à votre cote ainsi qu'aux différentes analyses des solutions. Cela vous permettra d'obtenir votre niveau d'expertise dans le domaine de la conception d'une commande industrielle.

Les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine.

## **6. Confidentialité, diffusion et conservation**

Dans les étapes de la participation à cette recherche, un code est créé lorsque la première phase est complétée. Ce code permet de lier les données des questionnaires et les solutions du problème à une cote et vos coordonnées. Le fichier permettant de réaliser le lien entre le participant et ses données est chiffré (encryptions) et seul le chercheur principal y aura accès. L'entreprise TalenTech aura accès à la cote (A, B, C, D, E) si vous cocher la case autorisant la transmission de votre cote.

### **6.1 Confidentialité**

- Tous les questionnaires et les réponses sont hébergés en ligne par LimeSurvey dont les serveurs sont aux Canada. Ce faisant l'accès aux données est assujetti à la loi canadienne sur l'accès à l'information. Une copie des données sera conservée sur les serveurs dont les garanties de confidentialité sont expliquées à l'adresse internet suivante : <https://www.limesurvey.org/privacy-policy>

- Toutes les évaluations seront conservées de façon anonyme sur le serveur de l'UQAC et publiés sur Constellation. Chaque participant possède un code unique d'accès au système informatisé et les chercheurs seront les seules personnes qui peuvent accéder à cette information chiffrée à l'aide d'un mot de passe. Le chercheur principal, Martin Otis, possède le fichier et le mot de passe permettant d'accéder au fichier regroupant les données identificatoires et les codes personnels des participants.

### **6.2 Diffusion**

- Les données brutes anonymes et les résultats de cette recherche seront diffusés dans un mémoire de recherche accessible par l'entremise du dépôt institutionnel numérique de l'UQAC (Constellation).
- Cette recherche (méthodologie, données, résultats) sera publiée dans un article scientifique chez un éditeur reconnu dans le domaine.
- Une analyse des données sera réalisée en comparant les cotes, l'expérience déclarée par le participant (expériences industrielles, expérience académique et le niveau de scolarité) et le nombre de simulations exécutées avant la fin de l'examen. Une analyse de type ANOVA sera réalisée en comparant les cotes des participants versus l'évaluation du professeur (Martin Otis). Des analyses ANOVA2-way seront réalisées pour comparer les données des échelles de Likert, les cotes et certaines données sociodémographiques. D'autres analyses statistiques seront exécutées dont le t-test ( $n > 30$ ) ou Mann-Whitney ou Wilcoxon ( $n < 30$ ). Ces analyses statistiques ne sont pas identificatoires et seront présentées dans l'article scientifique prévu dans ce projet.

### **6.3 Conservation**

- L'ensemble des renseignements identificatoires et des données recueillies seront conservés à l'UQAC dans le bureau du responsable du projet puis détruits après 7 ans selon des méthodes sécuritaires et adaptées au format des outils utilisés.

### **6.4 Utilisation ultérieure des données**

- Les données anonymes et publiques pourraient être réutilisées dans d'autres projet de recherche afin d'améliorer les analyses, les résultats de la recherche et d'améliorer la plateforme d'évaluation en ligne.

## **7. Compensation**

Aucune rémunération ou compensation n'est offerte.

## **8. Participation volontaire et droit de retrait de l'étude**

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer en ne répondant pas au questionnaire. Vous pouvez arrêter votre participation au moment que vous le souhaitez : si vous ne transmettez pas les réponses ou les solutions à la fin de chaque phase, les données ne sont pas enregistrées. Il est possible de vous retirer de l'étude une fois que vos réponses ont été soumises car il est possible de retracer votre questionnaire avec

vosre code. À votre demande, il est possible d'effacer le code, les réponses et les solutions données lors de votre participation. En aucun cas le consentement de participer à la recherche implique que le participant renonce à ses droits légaux ni ne décharge les chercheurs, les promoteurs ou les institutions impliquées de leurs responsabilités légales et professionnelles.

#### **9. Engagement du chercheur responsable et personnes ressources**

*Le chercheur responsable de ce projet de recherche s'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement. De plus, si vous avez des questions concernant le projet de recherche ou si vous éprouvez un problème que vous croyez lié à votre participation au projet de recherche, vous pouvez communiquer avec le responsable du projet de recherche aux coordonnées suivantes :*

Martin Otis  
[martin\\_otis@uqac.ca](mailto:martin_otis@uqac.ca)  
418-545-5011 poste 2577

*Pour toute question d'ordre éthique concernant votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec la coordonnatrice du Comité d'éthique de la recherche aux coordonnées suivantes : 418 545-5011 poste 4704 (ligne sans frais : 1-800-463-9880 poste 4704) ou [cer@uqac.ca](mailto:cer@uqac.ca)*

### **10. Consentement du participant**

J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, *ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche.*

J'accepte de participer :

J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech

Oui. (1) (donne accès aux deux questionnaires)

Non. (2) (une fenêtre apparaît pour remercier de l'attention portée)

### **Annexe 3 : Questionnaire socio-démographique**

Questionnaire socio-démographique

*Le genre masculin est employé dans le présent questionnaire a valeur de genre neutre.*

***Ce formulaire d'information et de consentement a été approuvé le 2021-10-12 par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Chicoutimi (CER-UQAC). No de référence : 2022-847.***

Où habitez-vous ?

	Alberta
	Colombie-Britannique
	Île-du-Prince-Édouard
	Manitoba
	Nouveau-Brunswick
	Nouvelle-Écosse
	Ontario
	Québec
	Saskatchewan
	Terre-Neuve-et-Labrador
	Nunavut
	Territoires du Nord-Ouest
	Yukon
	À l'extérieur du Canada, la liste déroulante est utilisée pour sélectionner le pays.

Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?

	17 ans ou moins
	18 à 20
	21 à 29
	30 à 39
	40 à 49
	50 à 59
	60 ans ou plus

Quel est votre sexe ?

	Femme
	Homme
	Autre (Spécifiez) :

Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?

	Moins que le diplôme d'études secondaires
	Diplôme d'études secondaires
	Un peu d'université mais pas de diplôme
	Certificat ou diplôme d'une école de métier
	Certificat ou diplôme d'un collège ou cégep
	Certificat universitaire inférieur au baccalauréat
	Diplôme universitaire
	Diplôme d'études supérieures

Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?

	Employé travaillant 39 heures ou moins par semaine
	Employé travaillant 40 heures ou plus par semaine
	Sans emploi et en recherche d'emploi
	Sans emploi et ne cherche pas d'emploi
	Retraité

Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?

	Aucune expérience dans le domaine
	Expérience sous forme de connaissances accumulées lors du cursus académique



	Moins de deux ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine
	Deux à cinq ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine
	Cinq à neuf ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine
	Plus de neuf ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine
	Expérience dans un domaine connexe qui requière le maintien constant d'un bon niveau de connaissance dans le domaine

#### Annexe 4 : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation

Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation

*Le genre masculin est employé dans le présent questionnaire a valeur de genre neutre.*

*Indiquer votre niveau de connaissance pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) :*

	Expert (5)	Plutôt expert (4)	Notions intermédiaires (3)	Débutant (2)	Notions de base (1)	N/A
Commandes continues						
Commandes séquentielles						
Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)						
Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)						
Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)						
LAD et LADDER						
SFC et GRAFCET						
Boîtes fonctionnelles (FBD pour <i>function block diagram</i> en anglais)						
Système de contrôle et d'acquisition des données						

(SCADA pour <i>Supervisory control and data acquisition</i> en anglais)						
Système numérique de contrôle-commande (DCS pour <i>distributed control system</i> en anglais)						
Asservissement linéaire continu						
PID, avance-retard de phase						
Système dynamique						
Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)						
Diagramme de Bode						
Critère de stabilité de Nyquist						
Stabilité des systèmes bouclés						

## Annexe 5 : Questionnaire post-expérimentation

Questionnaire post-expérimentation

*Le genre masculin est employé dans le présent questionnaire a valeur de genre neutre.*

***Ce formulaire d'information et de consentement a été approuvé le 2021-10-12 par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Chicoutimi (CER-UQAC). No de référence : 2022-847.***

Utilisabilité :

	Tout à fait d'accord (5)	Plutôt d'accord (4)	Ni d'accord ni en désaccord (3)	Plutôt en désaccord (2)	Tout à fait en désaccord (1)	N/A
Accès facile à la plateforme en ligne à partir de l'ordinateur personnel						
La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel						
Utilisation intuitive de la plateforme en ligne						
Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation						
Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de						

conception des commandes						
J'ai effectué efficacement les tâches demandées						

Effort et charge cognitive :

	Tout à fait d'accord (5)	Plutôt d'accord (4)	Ni d'accord ni en désaccord (3)	Plutôt en désaccord (2)	Tout à fait en désaccord (1)	N/A
L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile						
La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate						
Les questions techniques étaient faciles à interpréter						

Frustration et stress :

	Tout à fait d'accord (5)	Plutôt d'accord (4)	Ni d'accord ni en désaccord (3)	Plutôt en désaccord (2)	Tout à fait en désaccord (1)	N/A
Je me sentais à l'aise d'utiliser la						

plateforme en ligne						
Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne						
Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne						
Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne						
J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation						

Charge physique et temporelle :

	Tout à fait d'accord (5)	Plutôt d'accord (4)	Ni d'accord ni en désaccord (3)	Plutôt en désaccord (2)	Tout à fait en désaccord (1)	N/A
La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps						
Je me suis senti tendu						

au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne						
--	--	--	--	--	--	--

Recommandation sur l'amélioration de la plateforme en ligne :  
Veuillez ajouter ci-dessous vos commentaires concernant l'amélioration de la  
plateforme en ligne :

Commentaire libre :  
Veuillez ajouter tout autre commentaire ci-dessous :

**Annexe 6 : Échantillons des réponses des participants au questionnaire de pré-expérimentation**

<b>Réponse du questionnaire</b>	
ID de la réponse	1
Date de soumission	2022-05-19 13:23:53
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	2107947717
Code	0uoHTIzrdeUqZaa
Date de lancement	2022-05-19 13:17:16
Date de la dernière action	2022-05-19 13:23:53
URL référente	
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Canada
Quel est votre pays de résidence ?	Canada
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	30 à 39
Quel est votre sexe ?	Homme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents du baccalauréat québécois ( 15 à 16 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps plein ( 30 heures ou plus de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Moins de deux ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine



Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour function block diagram en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed contrôle system en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions avancées (4)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Notions avancées (4)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-05-19 15:00:00
Temps total :	63.4
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	7.82
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	20.2
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	12
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	23.38
Durée pour la question: Q8	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	2
Date de soumission	2022-05-20 11:20:17
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	662093546
Code	HyGlijGvSXPyorc
Date de lancement	2022-05-20 11:14:56
Date de la dernière action	2022-05-20 11:20:17
URL référente	<a href="https://moncourrier.uqac.ca/">https://moncourrier.uqac.ca/</a>
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Burkina Faso
Quel est votre pays de résidence ?	Canada
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	21 à 29
Quel est votre sexe ?	Homme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents du baccalauréat québécois ( 15 à 16 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps partiel ( 30 heures ou moins de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Expérience sous forme de connaissances accumulées lors du cursus académique
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions intermédiaires (3)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour function block diagram en anglais)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed contrôle system en anglais)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Notions intermédiaires (3)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Notions intermédiaires (3)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-05-20 11:00:00
Temps total :	318.58
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	50.69
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	112.19
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	71.52
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	84.18
Durée pour la question: Q8	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	3
Date de soumission	2022-06-07 11:39:16
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	869609470
Code	acbaUq7CXwVvLvi
Date de lancement	2022-06-07 11:30:35
Date de la dernière action	2022-06-07 11:39:16
URL référente	<a href="https://moncourrier.uqac.ca/">https://moncourrier.uqac.ca/</a>
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Cameroun
Quel est votre pays de résidence ?	Canada
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	21 à 29
Quel est votre sexe ?	Homme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents de la maîtrise québécoise ou du doctorat québécois ( Plus de 17 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps partiel ( 30 heures ou moins de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Moins de deux ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions avancées (4)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour function block diagram en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed contrôle system en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions avancées (4)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Notions avancées (4)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-06-08 10:00:00
Temps total :	435.76
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	218.23
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	97.35
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	91.07
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	29.11
Durée pour la question: Q8	



Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	14
Date de soumission	2022-08-02 17:33:57
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	1693046374
Code	oTkPlhwjXjzqIKz
Date de lancement	2022-08-02 17:09:51
Date de la dernière action	2022-08-02 17:33:57
URL référente	
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Tunisie
Quel est votre pays de résidence ?	Tunisie
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	21 à 29
Quel est votre sexe ?	Homme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents de la maîtrise québécoise ou du doctorat québécois ( Plus de 17 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps plein ( 30 heures ou plus de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Expérience sous forme de connaissances accumulées lors du cursus académique

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour function block diagram en anglais)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed control system en anglais)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions de base (1)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Notions de base (1)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-08-04 16:00:00
Temps total :	1274.56
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	921.82
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	123.08
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	185.39
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	44.27
Durée pour la question: Q8	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	17
Date de soumission	2022-08-03 04:43:18
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	964499971
Code	6B0PaQ5LYwc6uwG
Date de lancement	2022-08-03 04:38:14
Date de la dernière action	2022-08-03 04:43:18
URL référente	
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Tunisie
Quel est votre pays de résidence ?	Tunisie
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	30 à 39
Quel est votre sexe ?	Homme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps plein ( 30 heures ou plus de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Cinq à neuf ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions avancées (4)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour function block diagram en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed control system en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Débutant (2)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Débutant (2)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Débutant (2)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-08-06 08:00:00
Temps total :	301.36
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	39.12
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	121.17
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	105.74
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	35.33
Durée pour la question: Q8	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	20
Date de soumission	2022-08-03 11:27:43
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	333657403
Code	FKEa8GWHmQ85auB
Date de lancement	2022-08-03 11:17:38
Date de la dernière action	2022-08-03 11:27:43
URL référente	
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Burkina Faso
Quel est votre pays de résidence ?	Allemagne
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	21 à 29
Quel est votre sexe ?	Homme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents du baccalauréat québécois ( 15 à 16 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps partiel ( 30 heures ou moins de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Expérience sous forme de connaissances accumulées lors du cursus académique
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions de base (1)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour function block diagram en anglais)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed contrôle system en anglais)]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Notions de base (1)



Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Notions de base (1)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-08-08 11:00:00
Temps total :	496.97
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	56.35
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	207.85
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	124.21
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	108.56
Durée pour la question: Q8	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	22
Date de soumission	2022-08-03 18:00:09
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	920375839
Code	WApGTeaGxnWJzRs
Date de lancement	2022-08-03 17:31:30
Date de la dernière action	2022-08-03 18:00:09
URL référente	<a href="https://mail.google.com/">https://mail.google.com/</a>
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Tunisie
Quel est votre pays de résidence ?	Tunisie
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	30 à 39
Quel est votre sexe ?	Homme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents de la maîtrise québécoise ou du doctorat québécois ( Plus de 17 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps plein ( 30 heures ou plus de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Cinq à neuf ans d'expérience en tant que professionnel dans le domaine
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Expert (5)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour fonction block diagram en anglais)]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed contrôle system en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Notions intermédiaires (3)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Notions intermédiaires (3)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-08-13 11:00:00
Temps total :	1715.71
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	182.85
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	274.3
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	242.51
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	1016.05
Durée pour la question: Q8	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	26
Date de soumission	2022-08-08 13:10:11
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	1803139137
Code	CuRac7lvVPkcLHG
Date de lancement	2022-08-08 11:28:46
Date de la dernière action	2022-08-08 13:10:11
URL référente	
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Algérie
Quel est votre pays de résidence ?	Algérie
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	40 à 49
Quel est votre sexe ?	Femme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents de la maîtrise québécoise ou du doctorat québécois ( Plus de 17 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps plein ( 30 heures ou plus de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Expérience sous forme de connaissances accumulées lors du cursus académique

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Expert (5)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Débutant (2)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Débutant (2)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Débutant (2)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour fonction block diagram en anglais)]	Débutant (2)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Débutant (2)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed control system en anglais)]	Débutant (2)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions avancées (4)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Notions intermédiaires (3)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-08-12 10:00:00
Temps total :	6082.49
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	5471.17
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	109.72
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	403.3
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	98.3
Durée pour la question: Q8	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	29
Date de soumission	2022-08-10 07:47:25
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	1370512829
Code	eJGa49qAKuGehys
Date de lancement	2022-08-10 07:38:54
Date de la dernière action	2022-08-10 07:47:25
URL référente	
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Tunisie
Quel est votre pays de résidence ?	Tunisie
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	21 à 29
Quel est votre sexe ?	Homme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents de la maîtrise québécoise ou du doctorat québécois ( Plus de 17 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps partiel ( 30 heures ou moins de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Expérience sous forme de connaissances accumulées lors du cursus académique



Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour fonction block diagram en anglais)]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed control system en anglais)]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions avancées (4)

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	Débutant (2)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	Notions intermédiaires (3)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	Notions avancées (4)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	Notions avancées (4)
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-09-01 15:00:00
Temps total :	294.02
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	27.44
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	107.84
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	122.14
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	36.6
Durée pour la question: Q8	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	32
Date de soumission	2022-09-13 16:39:10
Dernière page	4
Langue de départ	fr
Tête de série	248323807
Code	hQMMA50MDZXodku
Date de lancement	2022-09-13 16:28:22
Date de la dernière action	2022-09-13 16:39:10
URL référente	
Formulaire d'information et de consentement électronique concernant la participation. Consentement du participant : J'ai pris connaissance des informations ci-dessus et j'en comprends le contenu. De ce fait, ma participation est volontaire et je consens à ce que mes réponses soient utilisées pour les fins de ce projet de recherche. J'accepte de participer :	Oui
J'autorise la transmission de ma cote (A, B, C, D ou E) à l'UQAC et à l'entreprise TalenTech :	Oui
Quelle est votre nationalité ?	Guinée
Quel est votre pays de résidence ?	Guinée
Quelle catégorie ci-dessous comprend votre âge ?	30 à 39
Quel est votre sexe ?	Femme
Quel est votre sexe ? [Autre]	
Quel est le niveau d'études le plus élevé que vous avez complété ou le diplôme le plus élevé que vous avez obtenu ?	Équivalents du baccalauréat québécois ( 15 à 16 ans d'études )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre statu d'emploi ?	Temps plein ( 30 heures ou plus de travail par semaine )
Laquelle des catégories suivantes décrit le mieux votre expérience en automatisation ?	Aucune expérience dans le domaine
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes continues]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Commandes séquentielles]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) :	

[Actionneurs (pneumatiques, hydrauliques, vannes, etc.)]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Capteurs industriels (capacitif, inductif, optique, etc.)]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Automates programmables industriels (Schneider, ABB, Rockwell, etc.)]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [LAD et LADDER]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [SFC et GRAFCET]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Boîtes fonctionnelles (FBD pour function block diagram en anglais)]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système de contrôle et d'acquisition des données (SCADA pour Supervisory control and data acquisition en anglais)]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système numérique de contrôle-commande (DCS pour distributed contrôle system en anglais)]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Asservissement linéaire continu]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [PID, avance-retard de phase]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Système dynamique]	Notions de base (1)
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Lieu d'Evans (ou le lieu des racines)]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Diagramme de Bode]	

Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Critère de stabilité de Nyquist]	
Indiquez votre niveau de connaissances pour les notions suivantes de 1 (notions de base) à 5 (expert) : [Stabilité des systèmes bouclés]	
Choisir une période de disponibilité dans le calendrier google, cliquez sur le lien ci-dessous puis choisissez la période de disponibilité libre qui vous convient : <a href="https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey">https://calendar.google.com/calendar/LimeSurvey</a> Indiquez la période de disponibilité ci-dessous :	2022-09-13 21:00:00
Temps total :	644.49
Durée pour le groupe : FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT ELECTRONIQUE CONCERNANT LA PARTICIPATION	255.77
Durée pour la question: FIC1	
Durée pour la question: FIC2	
Durée pour le groupe : Questionnaire socio-démographique	171.84
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q2S1	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	
Durée pour la question: Q7	
Durée pour le groupe : Questionnaire d'auto-évaluation des connaissances en automatisation	154.96
Durée pour la question: Q1	
Durée pour le groupe : Calendrier	61.92
Durée pour la question: Q8	

## Annexe 7 : Échantillons des réponses des participants au questionnaire de post-expérimentation

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	2
Date de soumission	2022-06-01 15:37:43
Dernière page	1
Langue de départ	fr
Tête de série	1583113291
Code	dUrvuK mzS6siVlv
Date de lancement	2022-06-01 15:35:27
Date de la dernière action	2022-06-01 15:37:43
URL référente	
Utilisabilité [Accès facile à la plateforme en ligne à partir de l'ordinateur personnel]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel ]	Plutôt d'accord (4)
Utilisabilité [Utilisation intuitive de la plateforme en ligne]	Plutôt d'accord (4)
Utilisabilité [Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation]	Plutôt d'accord (4)
Utilisabilité [Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de conception des commandes]	Plutôt d'accord (4)
Utilisabilité [J'ai effectué efficacement les tâches demandées]	Plutôt d'accord (4)
Effort et charge cognitive [L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile]	Plutôt d'accord (4)
Effort et charge cognitive [La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Effort et charge cognitive [Les questions techniques étaient faciles à interpréter]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Frustration et stress [Je me sentais à l'aise d'utiliser la plateforme en ligne]	Plutôt d'accord (4)
Frustration et stress [Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne]	Plutôt en désaccord (2)
Frustration et stress [Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne]	Plutôt en désaccord (2)
Frustration et stress [Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne]	Plutôt en désaccord (2)

Frustration et stress [J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation]	Plutôt d'accord (4)
Charge physique et temporelle [La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps]	Plutôt d'accord (4)
Charge physique et temporelle [Je me suis senti tendu au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne]	Plutôt d'accord (4)
Recommandation sur l'amélioration de la plateforme en ligne Veuillez ajouter ci-dessous vos commentaires concernant l'amélioration de la plateforme en ligne :	
Commentaire libre Veuillez ajouter tout autre commentaire ci-dessous :	
Temps total :	135.55
Durée pour le groupe : Questionnaire post-expérimentation	135.55
Durée pour la question: Q1	
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	3
Date de soumission	2022-06-21 15:11:34
Dernière page	1
Langue de départ	fr
Tête de série	1098949253
Code	VNcbDT0A7JyqIts
Date de lancement	2022-06-21 15:04:55
Date de la dernière action	2022-06-21 15:11:34
URL référente	<a href="https://moncourrier.uqac.ca/">https://moncourrier.uqac.ca/</a>
Utilisabilité [Accès facile à la plateforme en ligne à partir de l'ordinateur personnel]	Plutôt d'accord (4)
Utilisabilité [La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel ]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Utilisation intuitive de la plateforme en ligne]	Plutôt en désaccord (2)
Utilisabilité [Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation]	Plutôt en désaccord (2)
Utilisabilité [Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de conception des commandes]	Plutôt en désaccord (2)
Utilisabilité [J'ai effectué efficacement les tâches demandées]	Plutôt d'accord (4)
Effort et charge cognitive [L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile]	Plutôt en désaccord (2)
Effort et charge cognitive [La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate]	Plutôt d'accord (4)
Effort et charge cognitive [Les questions techniques étaient faciles à interpréter]	Plutôt d'accord (4)
Frustration et stress [Je me sentais à l'aise d'utiliser la plateforme en ligne]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Frustration et stress [Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne]	Plutôt en désaccord (2)
Frustration et stress [Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation]	Ni d'accord ni en désaccord (3)



Charge physique et temporelle [La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps]	Plutôt d'accord (4)
Charge physique et temporelle [Je me suis senti tendu au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Recommandation sur l'amélioration de la plateforme en ligne Veuillez ajouter ci-dessous vos commentaires concernant l'amélioration de la plateforme en ligne :	la plateforme en ligne n'est pas du tout intuitive, l'utilisation des blocs de programmation n'est pas correctement spécifié, le graphique est lourd et il est difficile de gérer les connexions entre les différents composants.
Commentaire libre Veuillez ajouter tout autre commentaire ci-dessous :	Concernant l'évaluation je l'ai trouvé assez représentative de la réalité c'est à dire des performances du programme testé par rapport à la référence.
Temps total :	398.67
Durée pour le groupe : Questionnaire post-expérimentation	398.67
Durée pour la question: Q1	
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	4
Date de soumission	2022-08-06 04:36:10
Dernière page	1
Langue de départ	fr
Tête de série	925306077
Code	oTkPlhwjXjzqIKz
Date de lancement	2022-08-06 04:24:35
Date de la dernière action	2022-08-06 04:36:10
URL référente	
Utilisabilité [Accès facile à la plateforme en ligne à partir de l'ordinateur personnel]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel ]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Utilisation intuitive de la plateforme en ligne]	
Utilisabilité [Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de conception des commandes]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [J'ai effectué efficacement les tâches demandées]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [Les questions techniques étaient faciles à interpréter]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais à l'aise d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne]	
Frustration et stress [Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne]	

Frustration et stress [J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation]	Tout à fait d'accord (5)
Charge physique et temporelle [La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps]	Tout à fait en désaccord (1)
Charge physique et temporelle [Je me suis senti tendu au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Recommandation sur l'amélioration de la plateforme en ligne Veuillez ajouter ci-dessous vos commentaires concernant l'amélioration de la plateforme en ligne :	
Commentaire libre Veuillez ajouter tout autre commentaire ci-dessous :	
Temps total :	693.85
Durée pour le groupe : Questionnaire post-expérimentation	693.85
Durée pour la question: Q1	
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	5
Date de soumission	2022-08-08 12:43:50
Dernière page	1
Langue de départ	fr
Tête de série	1239711198
Code	0uoHTIzrdeUqZaa
Date de lancement	2022-08-08 12:42:50
Date de la dernière action	2022-08-08 12:43:50
URL référente	
Utilisabilité [Accès facile à la plateforme en ligne à partir de l'ordinateur personnel]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel ]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Utilisation intuitive de la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de conception des commandes]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [J'ai effectué efficacement les tâches demandées]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [Les questions techniques étaient faciles à interpréter]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais à l'aise d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation]	Tout à fait d'accord (5)

Charge physique et temporelle [La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Charge physique et temporelle [Je me suis senti tendu au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Recommandation sur l'amélioration de la plateforme en ligne Veuillez ajouter ci-dessous vos commentaires concernant l'amélioration de la plateforme en ligne :	
Commentaire libre Veuillez ajouter tout autre commentaire ci-dessous :	
Temps total :	59.26
Durée pour le groupe : Questionnaire post-expérimentation	59.26
Durée pour la question: Q1	
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	6
Date de soumission	2022-08-08 14:08:19
Dernière page	1
Langue de départ	fr
Tête de série	1824747601
Code	FKEa8GWHmQ85auB
Date de lancement	2022-08-08 14:03:01
Date de la dernière action	2022-08-08 14:08:19
URL référente	
Utilisabilité [Accès facile à la plateforme en ligne à partir de l'ordinateur personnel]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel ]	
Utilisabilité [Utilisation intuitive de la plateforme en ligne]	
Utilisabilité [Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de conception des commandes]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [J'ai effectué efficacement les tâches demandées]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate]	Plutôt d'accord (4)
Effort et charge cognitive [Les questions techniques étaient faciles à interpréter]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Frustration et stress [Je me sentais à l'aise d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation]	Tout à fait d'accord (5)

Charge physique et temporelle [La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps]	Plutôt en désaccord (2)
Charge physique et temporelle [Je me suis senti tendu au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Recommandation sur l'amélioration de la plateforme en ligne Veuillez ajouter ci-dessous vos commentaires concernant l'amélioration de la plateforme en ligne :	
Commentaire libre Veuillez ajouter tout autre commentaire ci-dessous :	
Temps total :	316.19
Durée pour le groupe : Questionnaire post-expérimentation	316.19
Durée pour la question: Q1	
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	7
Date de soumission	2022-08-12 11:25:30
Dernière page	1
Langue de départ	fr
Tête de série	1735726892
Code	CuRac7lvVPkcLHG
Date de lancement	2022-08-12 11:16:15
Date de la dernière action	2022-08-12 11:25:30
URL référente	
Utilisabilité [Accès facile à la plateforme en ligne à partir de l'ordinateur personnel]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel ]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Utilisation intuitive de la plateforme en ligne]	Plutôt d'accord (4)
Utilisabilité [Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de conception des commandes]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Utilisabilité [J'ai effectué efficacement les tâches demandées]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Effort et charge cognitive [L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile]	Plutôt d'accord (4)
Effort et charge cognitive [La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate]	Plutôt d'accord (4)
Effort et charge cognitive [Les questions techniques étaient faciles à interpréter]	Plutôt d'accord (4)
Frustration et stress [Je me sentais à l'aise d'utiliser la plateforme en ligne]	Plutôt d'accord (4)
Frustration et stress [Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait en désaccord (1)
Frustration et stress [J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation]	Plutôt d'accord (4)



Charge physique et temporelle [La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps]	Ni d'accord ni en désaccord (3)
Charge physique et temporelle [Je me suis senti tendu au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne]	Plutôt d'accord (4)
Recommandation sur l'amélioration de la plateforme en ligne Veuillez ajouter ci-dessous vos commentaires concernant l'amélioration de la plateforme en ligne :	
Commentaire libre Veuillez ajouter tout autre commentaire ci-dessous :	
Temps total :	553.06
Durée pour le groupe : Questionnaire post-expérimentation	553.06
Durée pour la question: Q1	
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	

Réponse du questionnaire	
ID de la réponse	8
Date de soumission	2022-08-13 12:27:15
Dernière page	1
Langue de départ	fr
Tête de série	1416623214
Code	WApGTeaGxnWJzRs
Date de lancement	2022-08-13 12:23:17
Date de la dernière action	2022-08-13 12:27:14
URL référente	<a href="https://mail.google.com/">https://mail.google.com/</a>
Utilisabilité [Accès facile à la plateforme en ligne à partir de l'ordinateur personnel]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [La plateforme en ligne expliquait les questions techniques qui portent sur la conception de la commande d'un procédé industriel]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Utilisation intuitive de la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [Aucun problème de connexion pendant toute la durée de l'expérimentation]	Plutôt en désaccord (2)
Utilisabilité [Aucune difficulté d'utilisation du logiciel de conception des commandes]	Tout à fait d'accord (5)
Utilisabilité [J'ai effectué efficacement les tâches demandées]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [L'apprentissage de l'utilisation de la plateforme en ligne était facile]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [La charge de travail pour la conception des commandes pour chacune des questions techniques était adéquate]	Tout à fait d'accord (5)
Effort et charge cognitive [Les questions techniques étaient faciles à interpréter]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais à l'aise d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais déstabilisé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais intimidé d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [Je me sentais anxieux d'utiliser la plateforme en ligne]	Tout à fait d'accord (5)
Frustration et stress [J'ai aimé la plateforme en ligne ainsi que l'évaluation]	Tout à fait d'accord (5)

Charge physique et temporelle [La réalisation des conceptions des commandes a pris beaucoup de temps]	
Charge physique et temporelle [Je me suis senti tendu au moins une fois pendant la durée de l'utilisation de la plateforme en ligne]	
Recommandation sur l'amélioration de la plateforme en ligne Veuillez ajouter ci-dessous vos commentaires concernant l'amélioration de la plateforme en ligne :	
Commentaire libre Veuillez ajouter tout autre commentaire ci-dessous :	
Temps total :	236.97
Durée pour le groupe : Questionnaire post-expérimentation	236.97
Durée pour la question: Q1	
Durée pour la question: Q2	
Durée pour la question: Q3	
Durée pour la question: Q4	
Durée pour la question: Q5	
Durée pour la question: Q6	

## Annexe 8 : Tutoriel sur comment résoudre un exercice dans OpenPLC

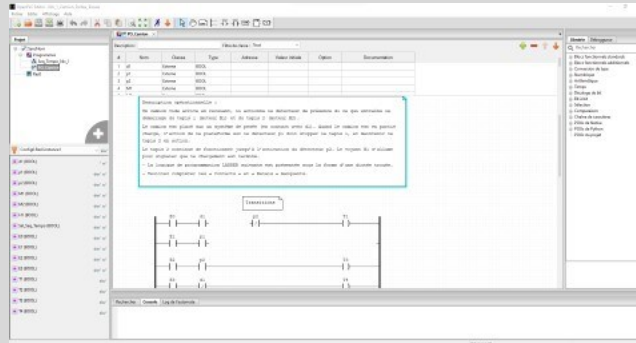


Pour remplir les exercices, suivez les instructions présentées dans ce tutoriel

Tout les tutoriels sont accessibles dans le dossier Tutoriels sur le bureau

Lors d'une première connexion vous devriez tomber sur un écran similaire à celui-ci

Vous pouvez retourner au bureau pour ouvrir les tutoriels si besoin

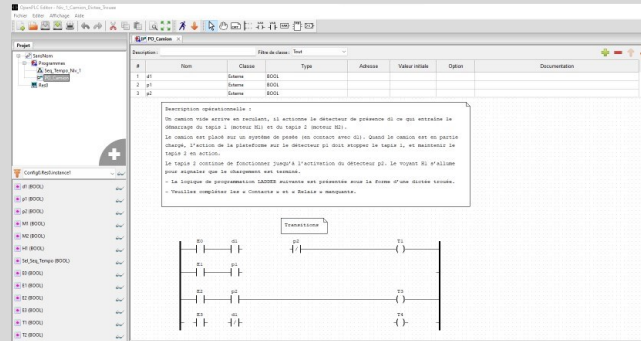


Chaque exercice contient l'exercice de dictée trouée **RD\_Camior**

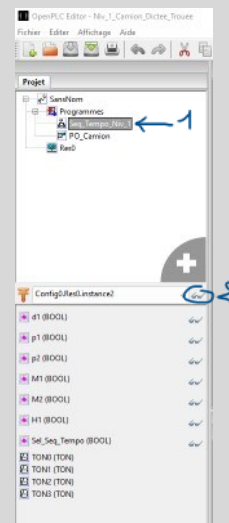
Ainsi qu'une séquence temporelle ici 'SeQ\_Tempo\_Niv\_1' utilisant l'exercice pour la simulation de la logique programmée

Remplissez la dictée trouée

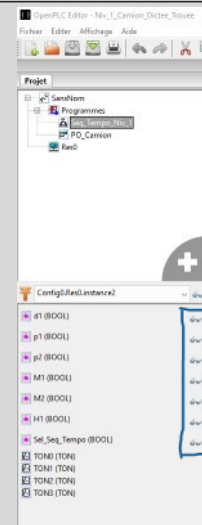
La séquence temporelle sera utilisée pour la simulation plus tard



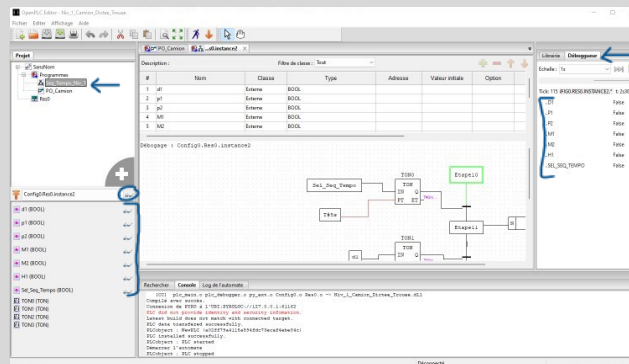
- Une fois que l'exercice est rempli
- Il faut sélectionner l'onglet 'Séquence temporelle' puis cliquer sur les lunettes



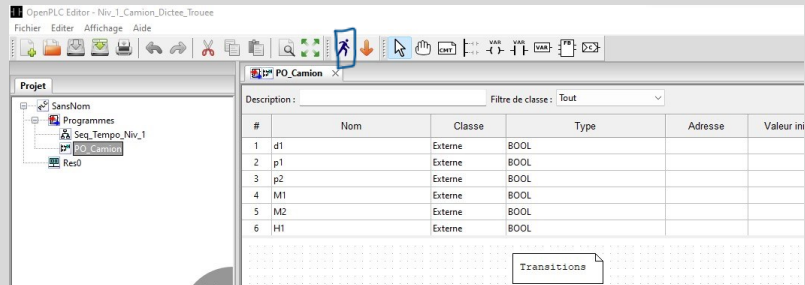
- Par la suite il faut ajouter chacune des variables à la simulation en cliquant sur les lunettes
- Pour certains exercices il peut y avoir jusqu'à une douzaine de variables sous l'onglet 'Séquence temporelle'
- Il est très important d'ajouter toutes ces variables en cliquant sur les lunettes correspondantes



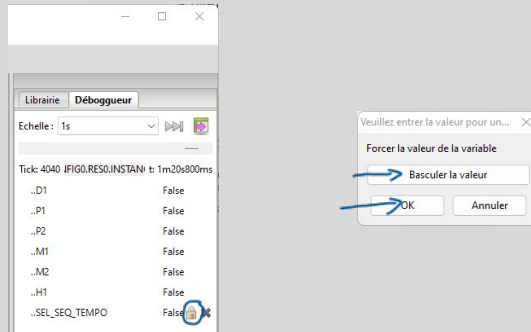
- Lorsqu'une variable est ajoutée
- Elle est indiquée dans la fenêtre de gauche sous 'Débogueur'



- Lancer la simulation
- Pour effectuer la simulation, cliquez sur Start PLC simulation



- Ensuite, basculez la valeur de la variable 'SEISEQ-TEMPO' de 'false' à true'
- Attendez un minimum de 30 secondes afin d'effectuer deux à trois itérations sur l'exercice



- Après 30 secondes de simulation
- Cliquez sur 'Stop PLC Simulation'
- Copiez les données de simulation en cliquant sur la flèche sous 'Débogueur'
- Enfin, appuyez sur F1 pour soumettre votre simulation pour correction

