

Etude et conception d'une interface de pilotage et de surveillance d'une retordeuse

Anis M'halla

Laboratory of Automation and Electrical Systems Environment (LAESE),
National Engineering School of Monastir (ENIM), Monastir, Tunisia

Info. Article

Historique de l'article

Received 06/09/2021

Revised 05/05/2022

Accepted 10/05/2022

Mots-clés:

Processus de retordage ;
Interface Homme-Machine ;
Pilotage; défaut de qualité;
Simulation.

RESUME

La compétitivité passe par la maîtrise des coûts, l'innovation et la conformité du produit aux exigences des clients. Un bon contrôle permet d'accroître la productivité, de réduire les coûts et d'améliorer la qualité. L'étude et la conception d'une interface de contrôle et de pilotage d'une retordeuse, constituent les principales contributions de ce papier. Dans ce contexte, les travaux présentés s'attachent à développer, en se référant à un nouveau langage de programmation, une interface homme-machine, sous Visual Studio. Le travail présenté a pour objectif d'améliorer la qualité du produit final et de trouver une solution adéquate permettant la gestion de données, le pilotage, le contrôle et l'archivage des données d'un processus de retordage. Les résultats de simulations sont prometteurs puisque les statistiques ont montré que la stratégie développée a permis de minimiser les rebuts et le coût de la production.

* Auteur Correspondant:

anis_mhalla@yahoo.com (Anis Mhalla)

1. INTRODUCTION

La complexité des systèmes dans lesquels l'homme est impliqué aujourd'hui conduit à l'émergence de systèmes de traitement de l'information de plus en plus sophistiqués et incontournables. La supervision des systèmes de production s'inscrit typiquement dans cette problématique. La supervision consiste à surveiller et contrôler l'exécution d'une opération ou la réalisation d'un travail accompli par d'autres. Avec le développement technologique, le rôle de l'opérateur a évolué de la conduite à la supervision du processus de production. Cette évolution du travail de l'homme tient à plusieurs raisons. L'une de ces raisons concerne la gestion des dysfonctionnements puisque l'ensemble des défauts ne peut être prévu de façon exhaustive. De plus, l'élaboration par l'opérateur des procédures de correction des défauts n'est généralement pas le fruit d'un raisonnement de type analytique, mais relève plutôt d'un savoir-faire typiquement humain, acquis par apprentissage ou par induction.

Pour les processus industriels, l'Interface Homme Machine (IHM) constitue l'intermédiaire entre la machine et l'opérateur. Elle comprend à la fois les dispositifs de présentation de l'information, les organes de commande et d'éventuels outils d'assistance. L'IHM a pour mission l'amélioration des performances d'un système de production afin d'avoir un produit conforme, de bonne qualité et qui satisfait les exigences du client. Un ensemble de problèmes ergonomiques apparaît à la fois lors de l'exploitation de la retordeuse, sujet de notre étude, dont on cite l'inaptitude de vérifier la qualité de torsion et la déformation des bobines obtenues. La nécessité d'arrêter la machine pour intervenir, quelle que soit la raison, engendre de pertes sur plusieurs niveaux. En effet, l'obligation d'arrêter la retordeuse, suite à un défaut de qualité, engendre une perte de temps et un déficit financière. Cet arrêt influe sur la production ainsi que la productivité de l'unité de production. La perte du temps et les retards cumulés lors de la livraison sont concrétisés par un remplacement des bobines non conformes. Ces défauts de qualité influent sur la satisfaction des clients et l'image de l'entreprise sur le marché local et internationale. Face à ces anomalies de fonctionnement, il semble intéressant d'implémenter une approche de surveillance permettant le pilotage et le suivi du processus afin d'améliorer la qualité du produit. Dans ce contexte les travaux proposés dans ce papier s'intéressent à l'étude et à la conception d'une IHM pour commander et contrôler une machine industrielle. Le recours à l'IHM permet aussi à l'opérateur de faciliter le pilotage et la prise de décision.

L'IHM permet d'éviter toute mauvaise interprétation en adaptant la logique de la machine avec celle de l'utilisateur lors des échanges d'informations. De nombreuses recherches sont actuellement menées, d'une part pour aider l'opérateur humain en salle de contrôle et d'autre part pour fournir aux équipes de développement des méthodes et des outils permettant de mieux intégrer l'homme lors de la conception. Dans [1], l'auteur

propose d'intégrer un logiciel commercial de visualisation et de commande comme outil de supervision d'une microcentrale hydroélectrique expérimentale. Des modèles dynamiques des éléments de la centrale hydroélectrique sont développés. Les résultats de simulation montrent une adéquation avec le fonctionnement des centrales hydroélectriques rapportées dans la littérature scientifique.

Afin de favoriser un comportement actif et anticipatif de l'Opérateur Humain de Supervision (OHS), il est proposé une intégration explicite d'une fonction de supervision émergente : le pronostic. Cette méthode permet de fournir des outils d'aide à la perception de l'état réel du système et de favoriser, ainsi, la génération humaine d'hypothèses. Cette démarche est fondée sur les principes causaux, temporels et qualitatifs, synthétisent les données dynamiques du système [2]. *Aliliche et Messadi* [3] proposent une IHM permettant de réguler le niveau d'un réservoir de stockage cylindrique via un régulateur PID intégré comme bloc programmé dans un API S7/300. Cette interface permet la récupération et l'affichage en ligne des variables caractéristique du processus.

Ce papier est organisé comme suit: la première section est consacrée au positionnement de notre travail dans une architecture de conduite d'atelier manufacturier avec une étude du principe de fonctionnement de la retordeuse. La deuxième section commence par la modélisation fonctionnelle de la retordeuse. Notre contribution dans ce cadre porte sur la génération d'une IHM permettant la commande et la surveillance du bobinoir.

2. PRESENTATION DE LA RETORDEUSE

Cette section est dédiée à la présentation du principe de fonctionnement de la machine retordeuse ainsi que ses différents constituants.

2.1 Présentation de la machine

L'action de retordage consiste à exercer une force de torsion de deux ou plusieurs fils pour avoir un fil composé de plusieurs filaments. La machine retordeuse, figure1, permet de réaliser le processus de torsion ainsi que le bobinage en se basant sur des différents composants électriques et mécaniques qui la constituent [4].



Figure 1. Machine de retordage

2.2 Principe de fonctionnement de la retordeuse

La retordeuse est responsable de deux tâches principales [5,6]:

- La torsion de multi-filament enfilé suite à la rotation du moteur de la broche supérieure (obtention d'un fil torsadé solide).
- L'enroulement du fil torsadé sur une bobine de réception de forme bien déterminée.

L'ouvrier doit tout d'abord alimenter la machine en bobines vides (les bobines de produit final) et pleines (les bobines à filaments simples) et fixer ensuite le brin de fil entre la broche inférieure et la bobine. Dès que les bobines et les fils sont bien placés, le cycle de retordage débutera, figure 2.

Les trois bobines pleines placées sur la broche supérieure (1) sont enfilées par l'intermédiaire des ailettes (13) et par la suite, les fils passent par des guide-fils à queue de cochon (2) et par l'arrêt supérieur (3) et rejoignent le second guide-fil à queue de cochon(4), figure 2. Ils sont accompagnés sur la couple de rouleaux

délivres sur lesquels ils doivent être envidés plusieurs fois et passent par le guide-fil à queue de cochon de l'arrêt inférieur (6), figure 2 [7].

Les fils assemblés doivent passer par la suite à travers le guide-fil de cordage (7), puis l'anneau de retordage(10), jusqu'à la bobine(8), figure 2. Le curseur (12), selon le choix de type de bobinage et suivant la direction de rotation des broches, permet d'avoir un envidage « S » ou « Z », pour obtenir enfin la forme exacte de la bobine finale. La retordeuse présente de plus certains composants de protection pour assurer la sécurité des personnes ; un clignotement d'urgence indiquant la présence d'une panne, un bouton d'arrêt et une corde d'urgence qui entoure la machine. La machine de retordage est constituée aussi bien d'un ensemble de pièces mécaniques, aussi bien que d'un ensemble de moteurs, de variateurs et de capteurs.

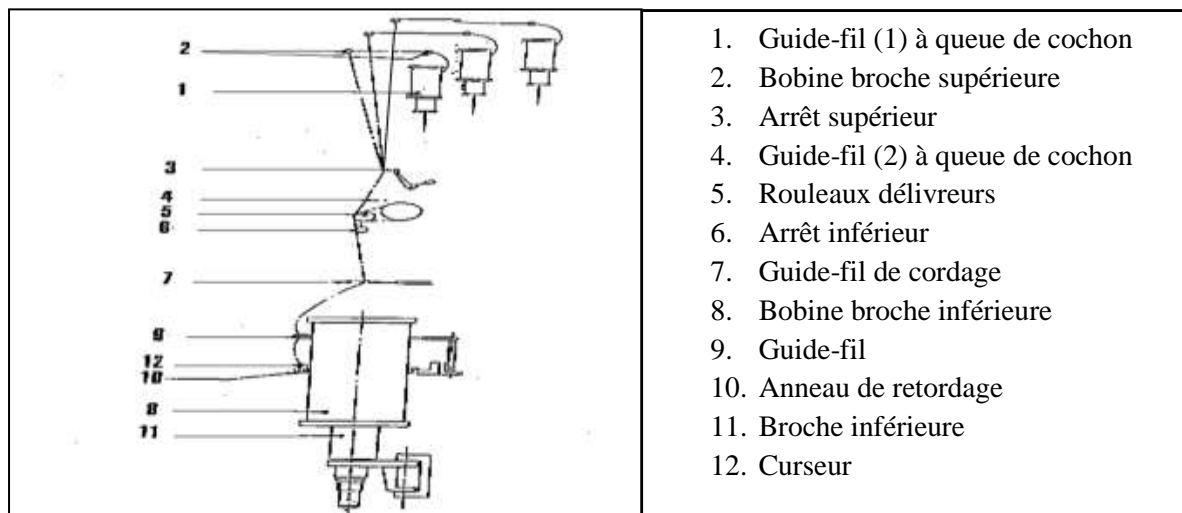


Figure 2. Principe de fonctionnement de la machine retordeuse

2.3 Constituants

Capteurs :

Dans notre système de retordage, quatre capteurs sont mis en jeu pour vérifier l'emplacement du curseur, figure 3.



Figure 3. Capteurs associés à la retordeuse

- S411 : un capteur indiquant le niveau bas de la bobine à remplir.
- S410 : un capteur détectant le niveau haut.
- S413 : Capteur indiquant le niveau conique (niveau intermédiaire si la forme de la bobine à remplir est conique).
- S432 : Capteur de niveau conique supérieur (autre forme de la bobine conique)

Les deux capteurs de proximité S410 et S411 déclenchent une course de montée et de descente du guide fil. Les deux autres capteurs génèrent une alarme provoquant l'arrêt de la machine dès l'occurrence d'une

anomalie de fonctionnement. Chaque broche (inférieure et supérieure) est équipée d'un capteur permettant de mesurer la vitesse de rotation de la broche [6].

Sélecteur :

Le sélecteur S324, permet la sélection entre deux formes de la bobine finale. En effet le sélecteur dispose de deux positions qui sont respectivement:

- Bobines à joues ou bobine à course constante, figure 4 ; c'est une bobine de forme cylindrique simple. Le capteur intermédiaires S413 est exclu dans cette commande.

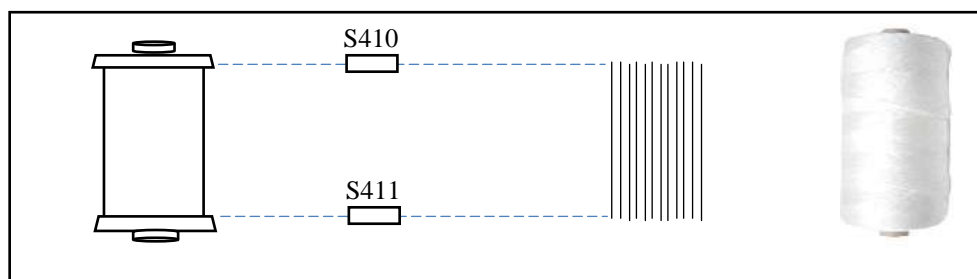


Figure 4. Bobine à joues

- Bobine à forme conique, dont on trouve deux choix de formes coniques : conique simple ou conique supérieur.

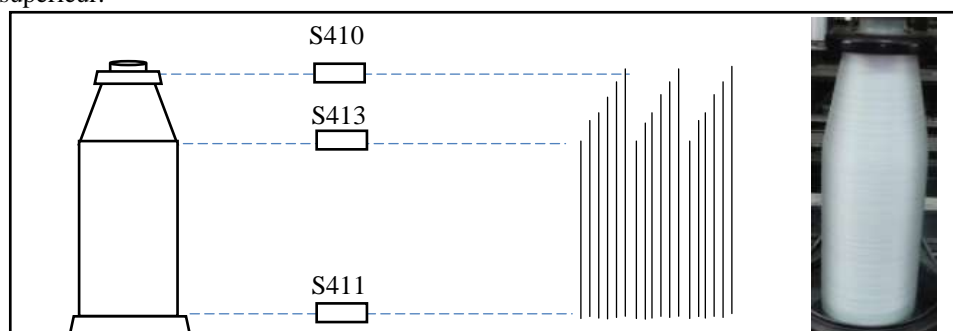


Figure 5. Bobine à forme conique

La machine retordeuse comporte aussi :

- Deux moteurs M1 et M2 pour assurer la rotation des broches et la torsion des fils.
- Un moteur M3 qui gère la rotation du système guide-fils

2.4 Problématique

Lors de l'étude du fonctionnement de la machine retordeuse, on a constaté des défauts en relation avec la qualité du produit dont l'inaptitude de l'opérateur à vérifier la qualité de torsion ainsi que la déformation de la bobine [8,9]. L'obligation d'arrêter la retordeuse pour éliminer les bobines non conformes représente une grande perte financière. Cet arrêt influe sur la production et la productivité de l'unité provoquant ainsi un retard à la livraison. La perte du temps est concrétisée par un remplacement des bobines non conformes.

Pour remédier à ce problème, l'objectif est de piloter et de surveiller le processus par l'intermédiaire d'une interface de surveillance (contrôle) de la qualité de la bobine et de créer un système d'acquisition de données capable de gérer les données, d'archiver l'historique et rectifier les défauts dès leurs occurrences par l'utilisateur.

3. SURVEILLANCE DE L'UNITE DE RETORDAGE

Le système de surveillance proposé vise à améliorer la qualité du produit en se référant à des caractéristiques dont la qualité de la torsion des fils, la forme de la bobine finale, etc. Pour cela notre choix est focalisé sur l'installation d'un nouveau système pour le suivi de la qualité du produit à travers une IHM. Sa mission est de contrôler et surveiller le produit tout en gardant la traçabilité du système.

3.1 Grafcet de surveillance de la machine de retordage

3.1.1 Grafcet de surveillance de la qualité de la torsion des fils

Le Grafcet de surveillance de la qualité de torsion est donnée par la figure 6:

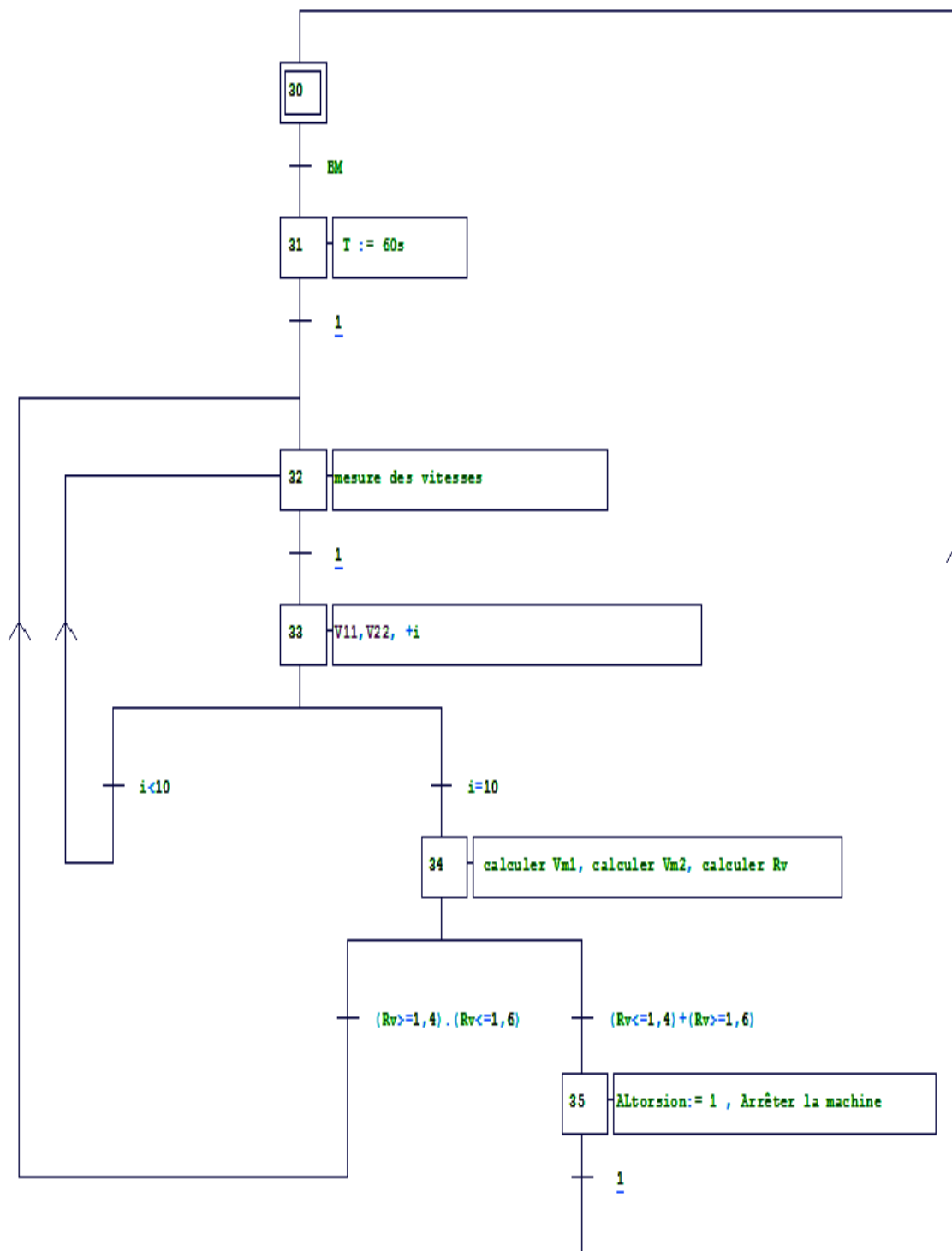


Figure 6. Grafcet de surveillance de la qualité de torsion des fils

Puisque la torsion des fils est basée sur le rapport des deux vitesses (V1/V2) associé respectivement aux broches B1 et B2 (Annexe 1), le principe de surveillance de la qualité de la torsion consiste à réaliser une dizaine de mesures des vitesses V1 et V2 et de calculer leurs moyennes **Vm1** et **Vm2** pour avoir ensuite le rapport des moyennes (**Rv**) et tester s'il est conforme ou non à la condition de qualité ($1.4 < Rv < 1.6$), figure 6. Si la condition est vérifiée, une autre mesure est lancée. Sinon, un arrêt total de la machine est exigé.

La figure 7, présente l’algorithme de surveillance de la qualité de torsion des fils.

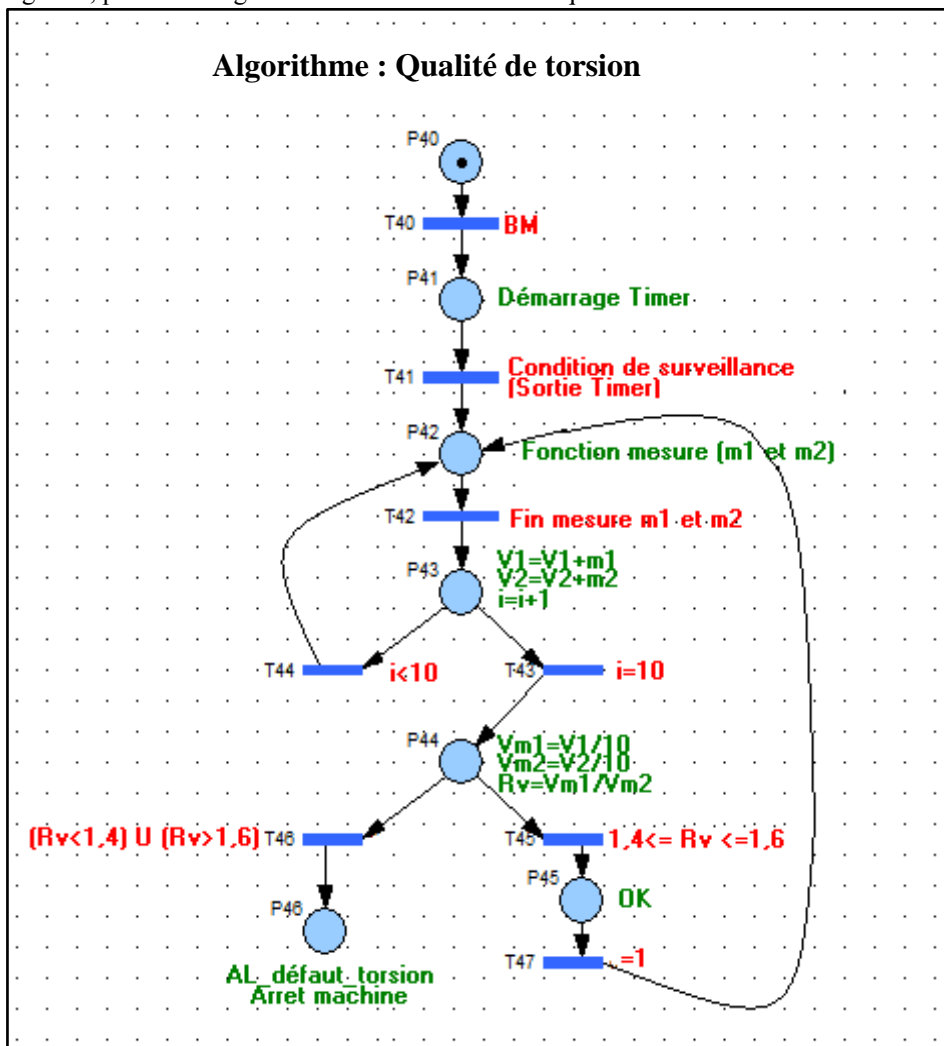


Figure 7. Algorithme de surveillance de la qualité de torsion des fils (Annexe A)

L’appui sur le bouton de marche « BM », provoque le démarrage des moteurs M1 et M2. La fonction mesure consiste à la lecture des vitesses V1 et V2 (grâce à deux compteurs rapides) associés respectivement aux moteurs M1 et M2. L’objectif est de lire les vitesses moyennes Vm1 et Vm2 (place 43). Ces vitesses sont obtenues après l’écoulement de dix impulsions successives (transition T43).

Une bonne qualité de torsion est exprimée par un rapport de vitesse Rv ($Rv = Vm1/Vm2$). La plage de variation du rapport de vitesse est fixée par le constructeur de la machine retordeuse. Si le rapport de vitesse appartient à l’intervalle [1,4 ...1,6], dans ce cas, les fils sont qualifiés de qualité (place 45). Si non un arrêt immédiat de la machine est exigé et une alarme est déclenchée informant l’opérateur de la mauvaise qualité de torsion (Place : P46).

3.1.2 Grafctet de contrôle de forme de la bobine finale

Pour avoir une forme correcte de la bobine, il indispensable de contrôler le changement du sens de rotation (Annexe 1). Si le temps de démarrage dépasse une temporisation de 500 ms, une alarme de non qualité est déclenchée générant par la suite l’arrêt de la machine retordeuse, figure 8.

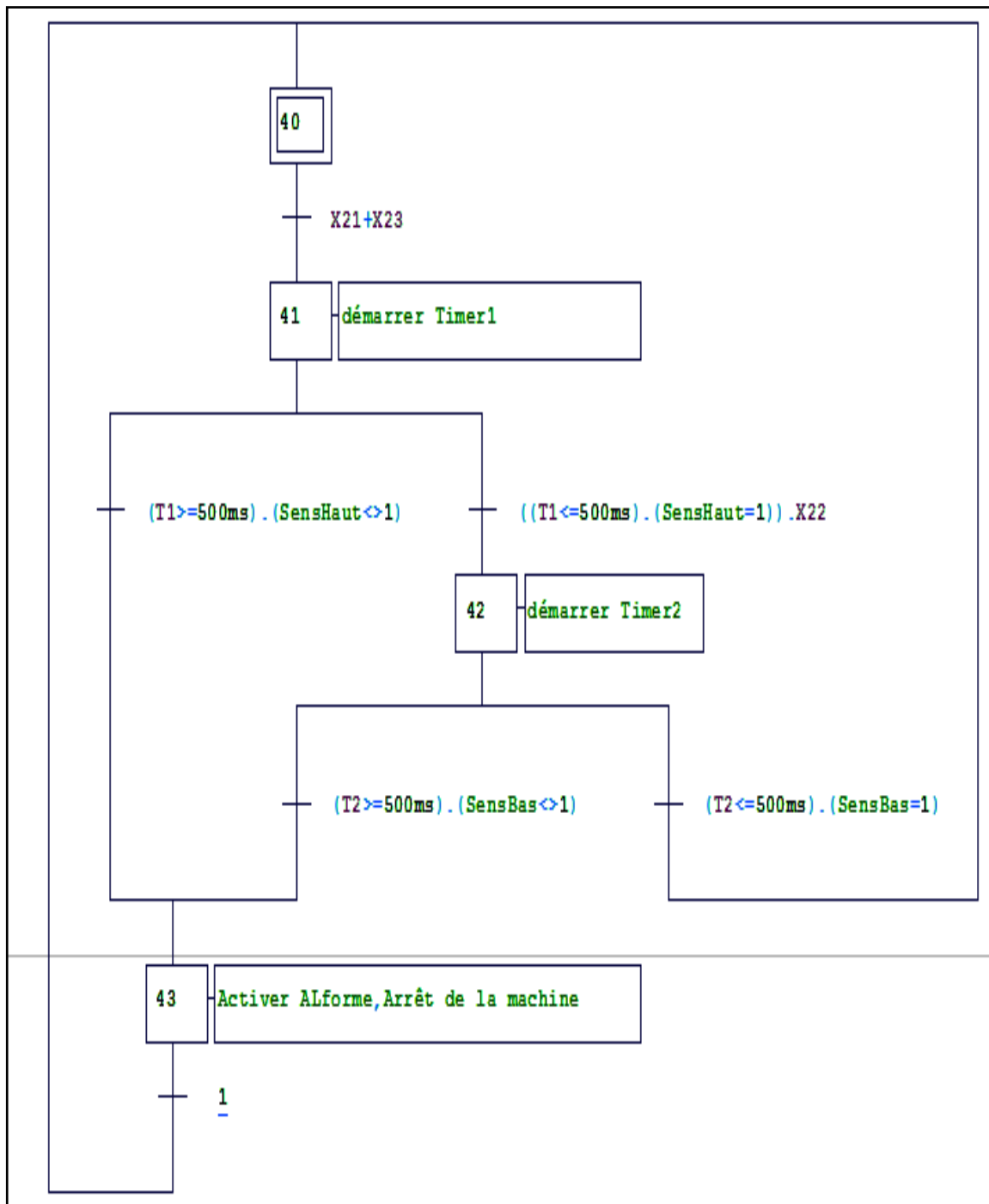


Figure 8. Grafcet de contrôle de la forme de la bobine

4. SUPERVISION DE LA RETORDEUSE

Pour commander et contrôler l’unité de retordage, il est indispensable de développer des applications Windows Formes créées en C# afin d’assurer le suivi du système de commande ainsi que le processus de surveillance de la machine retordeuse. Notre IHM, comporte plusieurs vues, permettant l’accès à travers un menu.

4.1 Fenêtre interface du système de commande

Sur la figure 9, est présentée la fenêtre principale du système de commande et de surveillance de la machine retordeuse. Elle permet le suivi et le contrôle de notre processus en introduisant la consigne désirée (fréquence). Cette vue autorise l’acquisition des vitesses mesurées par les variateurs de vitesse.

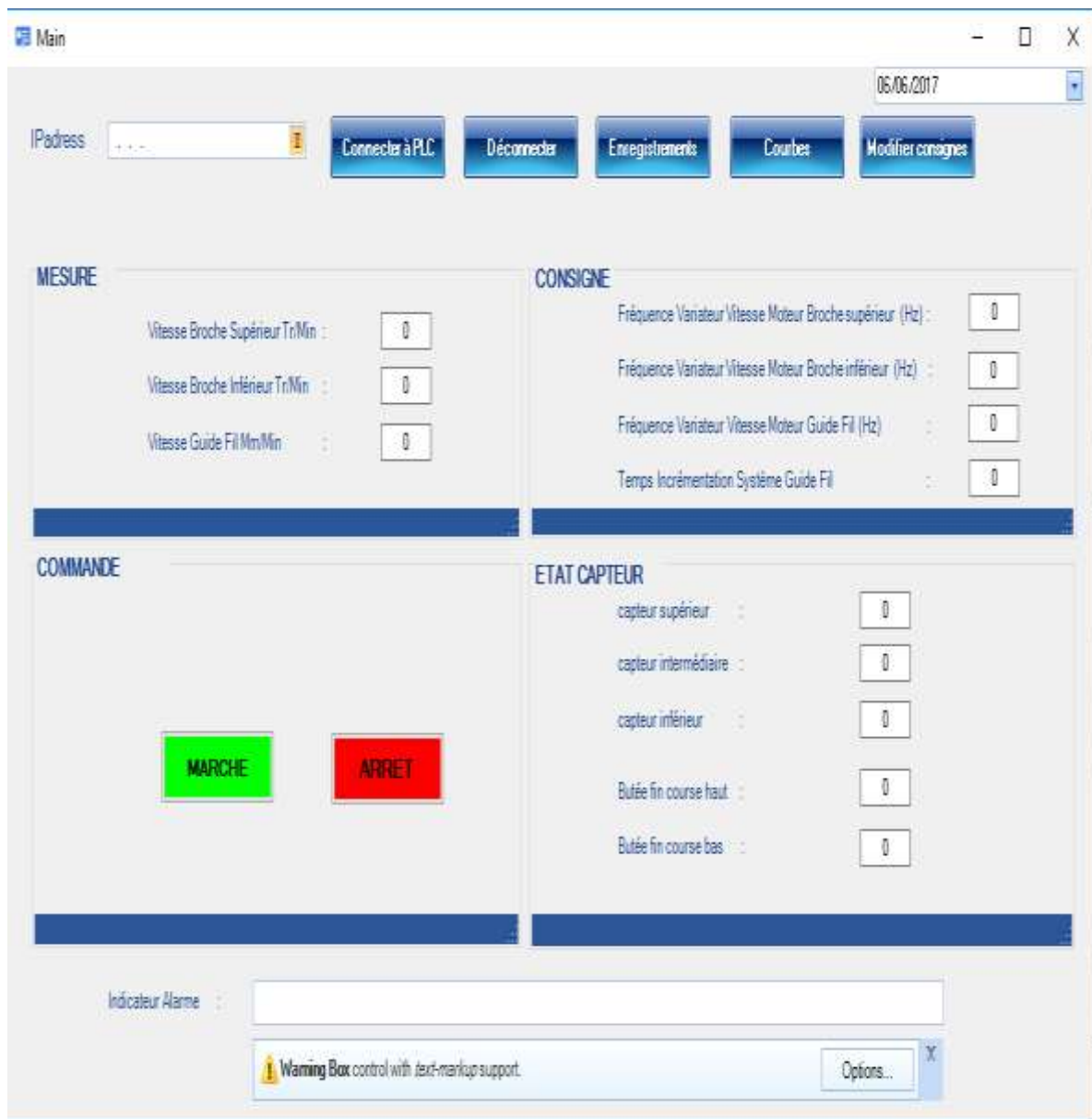


Figure 9. Vue du système de commande de la machine retordeuse

4.2 Interface de visualisation des informations de commande

La figure 10, permet de visualiser :

- l'évolution des mesures des vitesses de **V1** (resp. **V2**) du moteur **M1** (resp. **M2**) des broches supérieure et inférieure et de la vitesse **V3** du moteur **M3** du système guide-fils.
- le rapport des vitesses $Rv=V1/V2$ (pour la qualité de la torsion).
- la commande du sens de rotation du moteur **M3**.
- l'alarme générée dès l'occurrence d'un défaut ou d'une erreur de mesure.

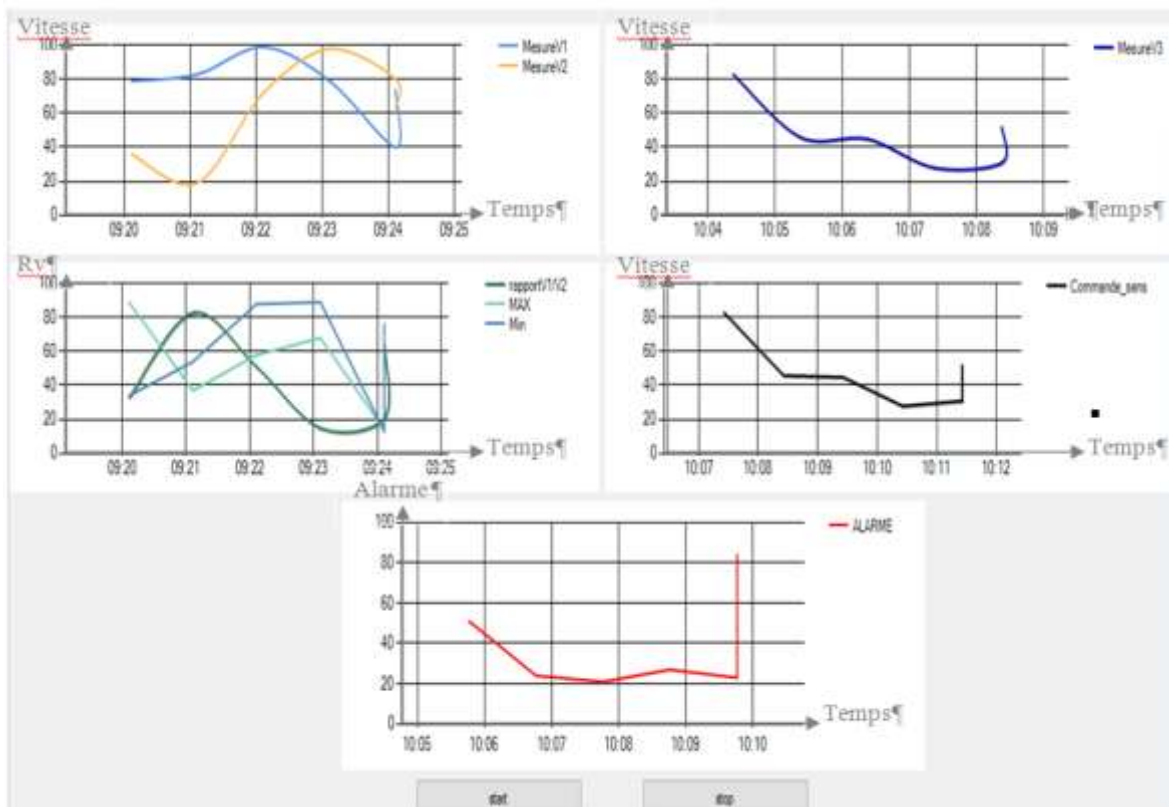


Figure 10. Vue des mesures de vitesses et niveau d’alarme en fonction du temps.

4.3 Compilation et simulation

A / Surveillance des moteurs M1 et M2

- Démarrage des deux moteurs M1 et M2

Le démarrage des deux moteurs est déclenché dès l’appui sur le bouton de marche dans la vue principale du système pour atteindre la consigne désirée, figure 11. Une temporisation est déclenchée afin de surveiller si les vitesses des moteurs atteignent la consigne ou pas.

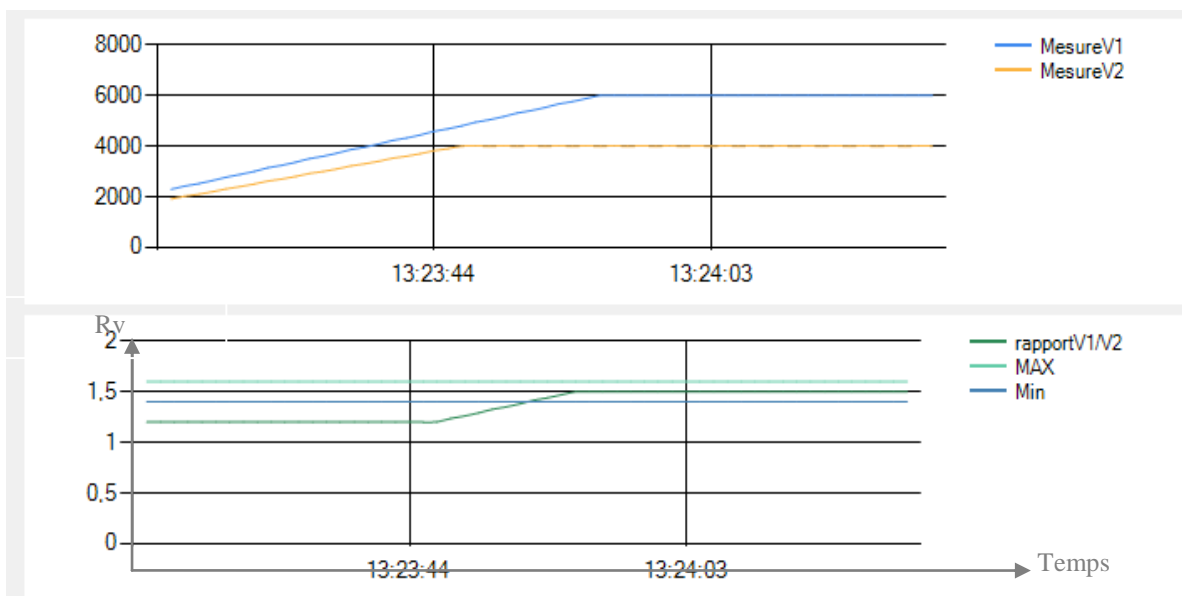


Figure 11. Surveillance des moteurs M1 et M2

• **Fonctionnement normal**

Si les vitesses V1 et V2 sont constants et le rapport $R_v \in [1,4 \ 1,6]$, dans ce cas la qualité de la torsion est alors bonne et le fonctionnement du système est qualifié de normal, figure 12.

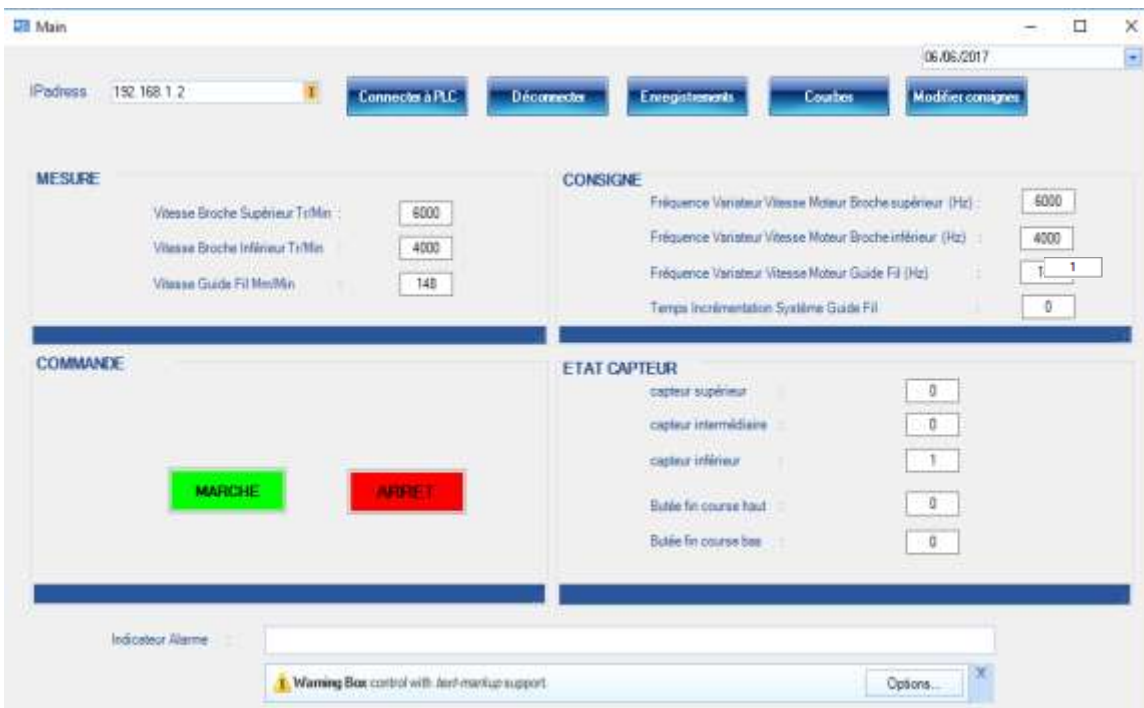


Figure 12. Vue du système en mode de fonctionnement normal

La figure 13 présente les courbes représentant les mesures de vitesses.

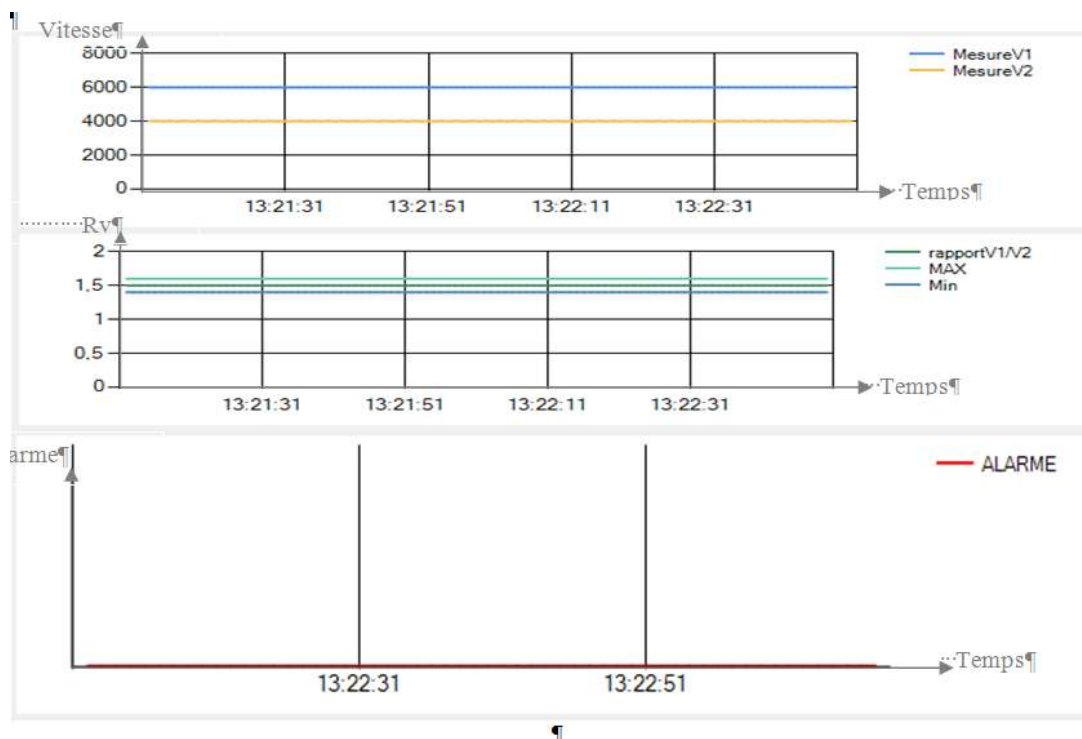


Figure 13. Fonctionnement normal du système

- **Fonctionnement dégradé**

- **Moteur M1**

Une variation de la vitesse V1 du moteur de la broche supérieure, figure 14, provoque le déclenchement d’alarme (erreur de mesure de la vitesse V1) d’où la non-conformité du rapport Rv. Dans ce cas un défaut torsion est détecté nécessitant un arrêt immédiat de la machine .

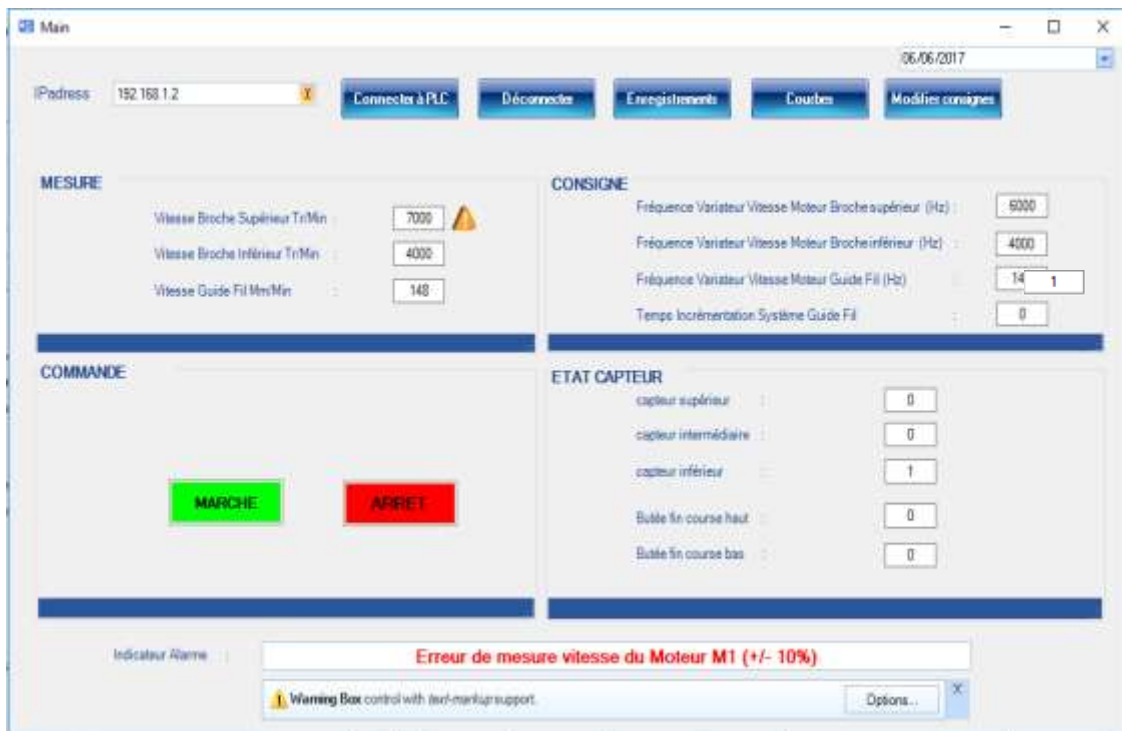


Figure 14. Génération d’une alarme de vitesse (Vue système)

Les courbes de la figure 15 illustrent la variation de la vitesse V1.

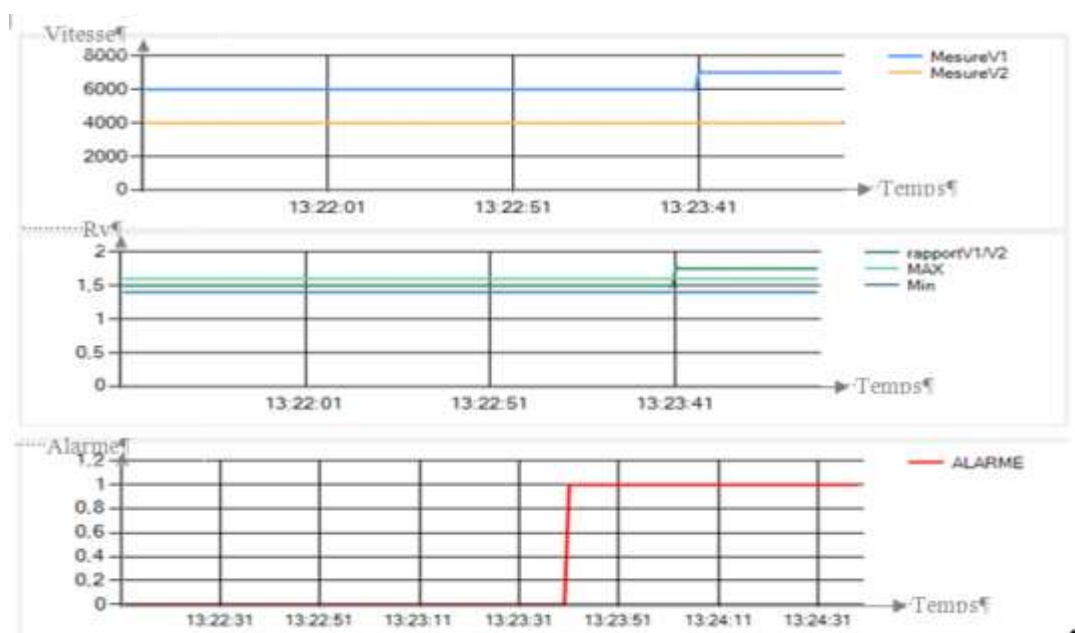


Figure 15. Erreur de fonctionnement

- Moteur M2

On retrouve les mêmes alarmes pour la vitesse V2 associé au moteur de la broche inférieure, figure 16. Une variation inattendue de la vitesse V2 provoque immédiatement le déclenchement d'une alarme qui se manifeste sous forme d'une erreur de mesure engendrée par un défaut de la qualité de torsion.

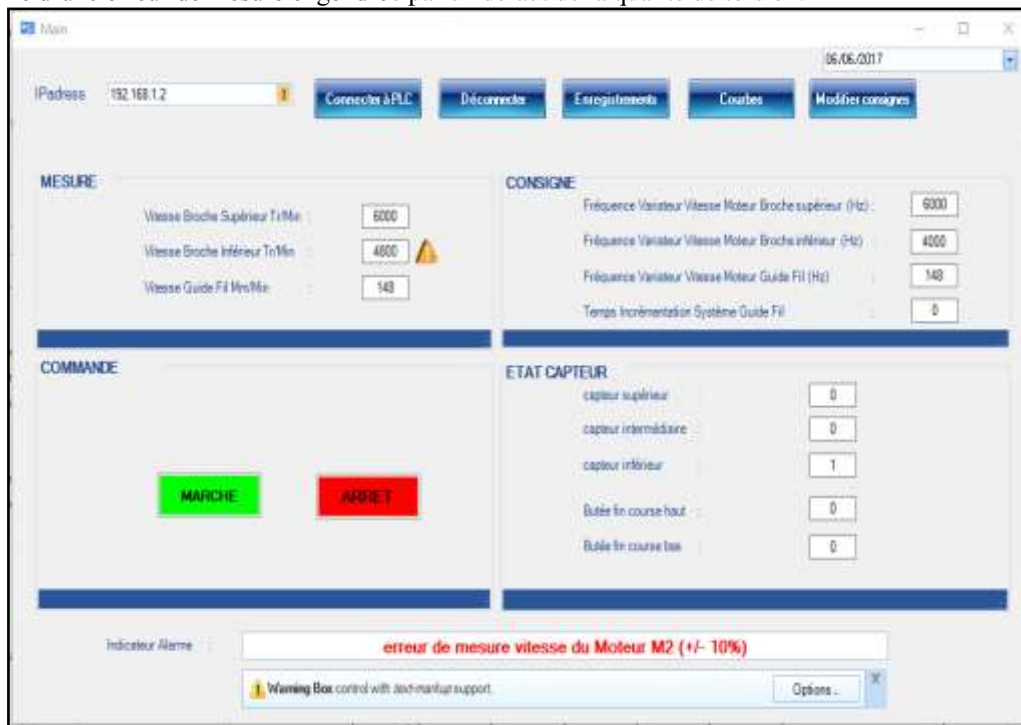


Figure 16. Vue système avec erreur de mesure de vitesse V2

Les courbes, figure 17, montrent les circonstances qui mènent à la génération d'une alarme.

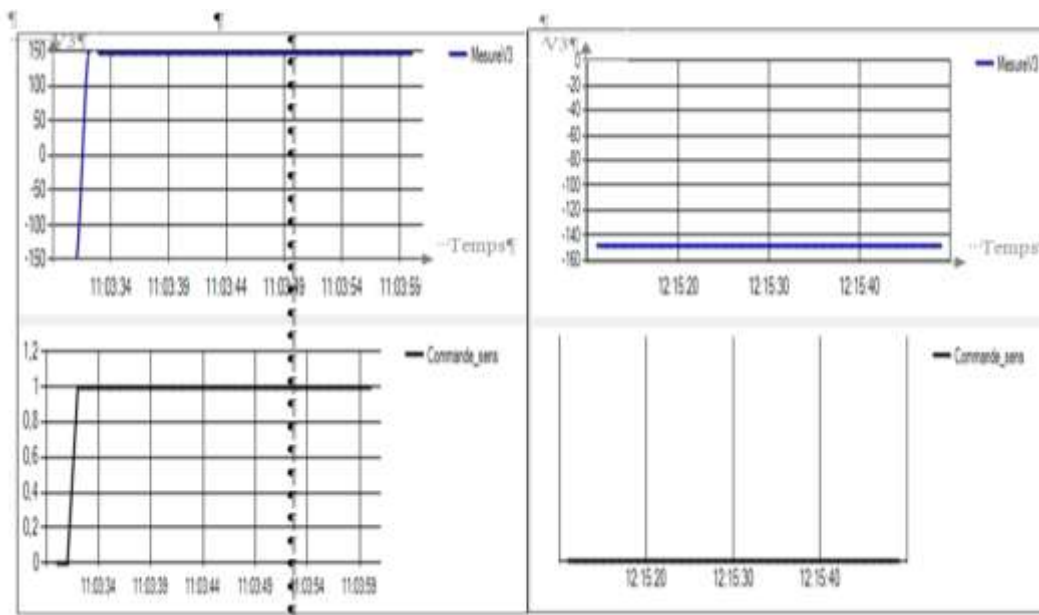


Figure 17. Génération d'une alarme suite à une vitesse erronée

4.4 Simulation et états de fonctionnement du moteur M3

- **Fonctionnement normale : démarrage du sens de rotation (sens haut)**

Une action de commande du sens de rotation sur le moteur M3 permet une transition du curseur. Le temps requis pour le changement du sens est estimé à 500 ms.

Les courbes ci-dessous, figure 18, présente le lien entre les mesures de la vitesse V3 du moteur du système guide-fil et la commande du sens :

- ↳ Commande = 0 → la vitesse V3 = -148 (sens de rotation horaire)
- ↳ Commande = 1 → la vitesse V3 = 148 (sens de rotation antihoraire)

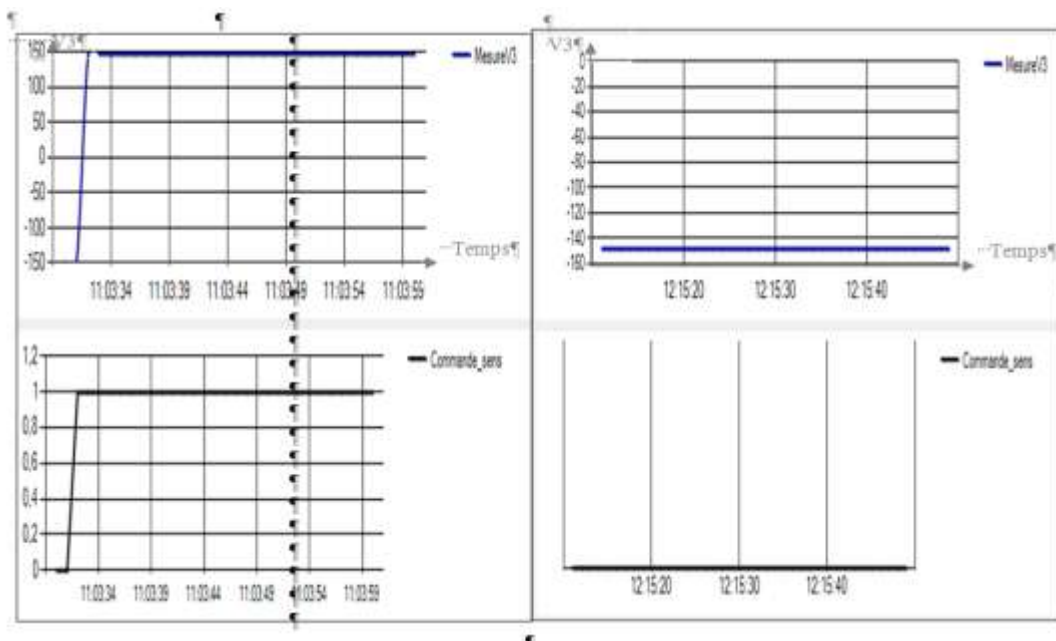


Figure 18. Commande du sens de rotation du moteur M3 du système guide-fil

- ✓ **Fonctionnement anormal**

L'occurrence d'un défaut de qualité de la forme de la bobine est conditionnée par une augmentation considérable de la vitesse V3 du système guide-fil. Ce qui explique l'application d'un contrôle sur la mesure pour qu'elle ne dépasse pas les 5% de la valeur de la consigne. Une alarme se déclenche indiquant un défaut de mesure lors d'une variation considérable de la vitesse, figure 18. Ce défaut se manifeste par la non-conformité de la forme géométrique de la bobine et l'arrêt immédiat de la machine pour remédier à ce défaut, figure 19.



Figure 19. Vue système avec erreur de mesure de vitesse V3

Les courbes de la figure 20 expriment la cause de la génération d’une alarme pour une vitesse de 160 tr/min dépassant les limites fixées par l’opérateur. La vitesse V3 ne doit pas dépasser +/-5% de la valeur de la consigne (148tr/min) c’est-à-dire elle doit être comprise entre 140,6 et 155,4 tr/min.

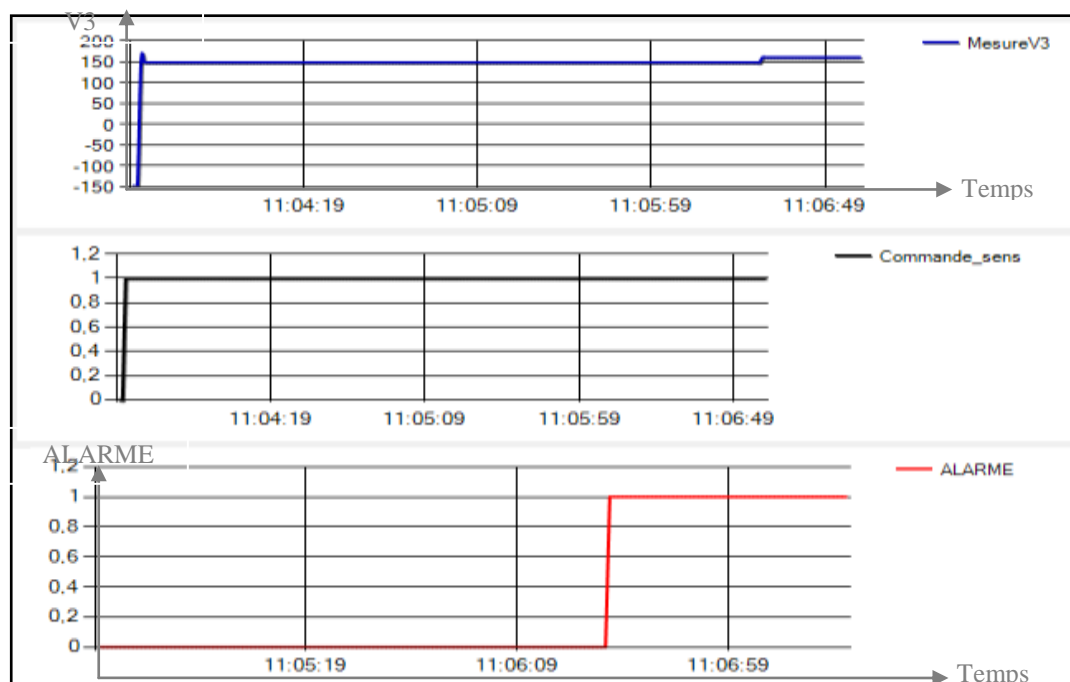


Figure 20. Déclenchement d’alarme d’erreur de mesure

5. CONCLUSION

La conception d’une interface de contrôle et de pilotage d’une retordeuse, constituent les principales contributions de nos travaux. Après avoir présenté les propriétés du système de production étudié, nous avons positionné la problématique relative à la communication entre l’opérateur et la machine de production ce qui a permis de présenter le contexte dans lequel nos travaux s’inscrivent.

Les travaux présentés dans ce papier, s’attachent à développer et à coder, en se référant à un langage de programmation, une interface homme machine. L’objectif est d’améliorer la qualité du produit final et de trouver une solution adéquate permettant la gestion de données, le pilotage, le contrôle et l’archivage des données de processus. Dans la deuxième partie, on a présenté les résultats de notre simulation à l’aide des aperçus écran accompagnés des interprétations. Le programme de surveillance élaboré permet de détecter la majorité des anomalies de fonctionnement de la retordeuse. Les résultats de simulations sont prometteurs puisque les statiques ont montré que la stratégie développée a permis de minimiser les rebuts et le coût de la production.

Il importera d’étendre l’aspect applicatif de l’IHM réalisée sous Visual studio. Une étude de l’autocorrection des défauts de la qualité à travers l’utilisation d’un correcteur PID permettrait d’avoir une

évaluation concrète des apports de l'interface développée. Il serait intéressant aussi de développer une réflexion spécifique concernant la maintenance de la retordeuse

6. REFERENCES

[1] Lako C. (2020). *Développement d'une interface homme-machine pour une microcentrale hydroélectrique. Thèse de doctorat*, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue).

[2] Bouraiou A., Neçaibia A., Motahhir S., Bouakkaz M. S., Attou I., Boutasseta N., & Ziane A. (2021, January). Supervision and monitoring of photovoltaic systems using siemens PLC and HMI. In *International Conference on Digital Technologies and Applications* (pp. 1147-1157).

[3] Aliliche L. , Messadi A. (2020). Régulation PID par API et supervision du niveau d'un réservoir cylindrique. *Mémoire de Master*, UMSB de Jijel, 2020, 115p. <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/5659>

[4] Goyal D., Pabla B. S., & Dhama S. S. (2019). Non-contact sensor placement strategy for condition monitoring of rotating machine elements. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(2), 489-501.

[5] Mhalla A. (2021). Online Diagnosis based on Chronicle Recognition of a Coil Winding Machine . *International Journal of Engineering and Applied Physics*, 1(2), 76-83.

[6] 9. Gaied M., M'halla A., & Othmen K. B. (2020, July). Fuzzy Monitoring Approach Based on P-time Petri Nets of manufacturing Systems with Time Constraints. *17th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, (pp. 572-577).

[7] Mohammed A., & Djurović S. (2018). Stator winding internal thermal monitoring and analysis using in situ FBG sensing technology. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 33(3), 1508-1518.

[8] Zhu B., Xiao D., Tan C., & J. Fletcher, J. (2019, October). Fault Tolerant Online Condition Monitor of DC-Link Capacitor for Open-end Winding Machine . In *IECON 2019-45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (Vol. 1, pp. 4623-4629). <https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8926729>

[9] Ebuehi A. A., Eric G. O., & Akinloye B. (2021). Design and fabrication of a portable automatic coil winding machine . *World Journal of Engineering*.

Annexe A :

Tableau A1. Indications et capteurs de la machine de retordage

Capteurs	Désignations
<i>BA</i>	Bouton d'arrêt
<i>BM</i>	Bouton marche
<i>S410</i>	Capteur de niveau haut
<i>S413</i>	Capteur intermédiaire
<i>S411</i>	Capteur de niveau bas
<i>BFCH</i>	Capteur de fin de course niveau haut (système guide-fils)
<i>BFCB</i>	Capteur de fin de course niveau bas (système guide-fils)
<i>AUR</i>	Arrêt d'urgence
<i>Alvar</i>	Alarme TOR de mal fonctionnement du variateur
<i>AL torsion</i>	Alarme TOR de non qualité de torsion
<i>AL forme</i>	Alarme TOR de non qualité de la forme de bobine
<i>T1</i>	Temporisation

Tableau A2. Pré-actionneurs

Pré-actionneurs	Actions	Désignations
Le variateur de vitesse V1	SM1/RM1	Démarrage et arrêt du moteur M1
Le variateur de vitesse V2	SM2/RM2	Démarrage et arrêt du moteur M2
Le variateur de vitesse V3	S M3/ R M3 SensR	Démarrage et arrêt du moteur M3 Changement du sens de rotation

Tableau A3. Abréviations (Fig 7)

M	Moteur
V	Vitesse du moteur
Vm	Vitesse moyenne
Rv	Rapport de vitesse
m	Mesure
i	Compteur
BM	Bouton de Marche:
AL_défaut_torsion	Alarme : défaut de torsion des fils