



Contribution à la Surveillance d'un système automatisé de production par des Réseaux de Petri Hybrides

* Anis M'halla¹

¹Laboratory of Automation- Electrical Systems Environment (LAESE)- National Engineering School of Monastir (ENIM)- MONASTIR-TUNISIA.

Received : 2021-08-18

Accepted : 2022-05-31

Résumé : La conception et l'implémentation d'un modèle de surveillance d'une retordeuse, constituent les principales contributions de ce papier. Dans ce contexte, les travaux présentés s'attachent à développer une stratégie de surveillance, à base des réseaux de Petri Hybrides, de la qualité des fils et de la forme géométrique de la bobine obtenue lors de l'opération de retordage. Afin d'améliorer la productivité et la fiabilité de la retordeuse des algorithmes de surveillance ont été développés.

Mots-clés : Qualité, surveillance, Réseaux de Petri hybrides, retordeuse.

Abstract: The design and implementation of a monitoring model for a twister machine are the main contributions of this paper. In this context, the presented work focuses on developing a monitoring strategy based on Hybrid Petri Nets for assessing the quality of the yarns and the geometric shape of the coil obtained during the twisting operation. Surveillance algorithms have been developed to enhance the productivity and reliability of the twister machine.

Keywords: Quality, monitoring, Hybrid Petri Nets, twister machine.

1. INTRODUCTION

Des nos jours, l'implémentation des systèmes automatisés suppose la mise en place des outils de surveillance et de diagnostic. La surveillance permet de garantir et de préserver la sûreté de fonctionnement des équipements et du personnel. L'étude proposée dans ce papier consiste à développer des algorithmes de surveillance de la qualité des bobines obtenue lors d'une opération de retordage. Ce processus de surveillance, à base des Réseaux de Petri interprétée à signal Hybrides (RdPISH) est intégré dans un système d'aide à la décision pour la maintenance industrielle.

Les réseaux de Petri (RdP) sont souvent plus appropriés pour des travaux de modélisation [1], [2] puisqu'ils possèdent une représentation plus compacte et plus intuitive que les automates. Plusieurs méthodes de modélisation ont été développées pour la surveillance de systèmes hybrides. Des modèles, initialement continus, ont été étendus par l'intégration d'aspects événementiels. Les RdP hybrides étendent des modèles à événements discrets en intégrant des aspects continus. Gaudel et al. [3] proposent d'effectuer la surveillance de santé sous incertitudes pour des systèmes hybrides en utilisant une méthode basée sur des modèles. La surveillance de santé s'effectue grâce à des méthodes de diagnostic et de pronostic et nécessite un modèle de comportement et un modèle de dégradation du système. Le formalisme des Réseaux de Petri Hybrides Particulaires (RdPHP) est défini dans un contexte de surveillance de santé pour générer des diagnostiqueurs des systèmes hybrides.

Un formalisme de Réseau de Petri Interprété est proposé par Kučera et al. [4] afin de traiter les incertitudes relatives aux observations continues et discrètes. L'objectif principal est de concevoir un outil de modélisation et de contrôle des systèmes hybrides en utilisant Arduino et des microcontrôleurs. Pour accomplir ces tâches, un nouvel outil appelé PN2ARDUINO basé sur les réseaux de Petri Interprétés est proposé. La communication avec le microcontrôleur est basée sur le protocole Firmata modifié. Dans ce contexte un algorithme de contrôle est implémenté sur des microcontrôleurs qui supportent ce type de protocole. Quentin et al. [5] présentent une nouvelle méthodologie de surveillance des systèmes hybrides sous incertitudes. Des diagnostiqueurs sont générés à partir des Réseaux de Petri à Particules Hybrides (RdPPH) afin de surveiller à la fois le comportement et la dégradation de ces systèmes. L'avantage des RdPPH est la prise en compte de l'incertitude. Le diagnostiqueur basé sur les RdPPH traite l'occurrence des événements discrets inobservables (tels que les défauts) et estime l'état continu du système par un filtrage particulière. La méthodologie basée sur le RdPPH est appliquée à un prototype de rover planétaire K11 développé par le centre de recherche de la NASA. Un modèle hybride du K11 est proposé et les résultats expérimentaux montrent

que l'approche est robuste aux données et aux contraintes temporelles du système.

Fendri et al. [6] propose un algorithme d'ordonnancement du flux d'énergie pour un système PHotovoltaïque/Batterie (PV/B) afin de garantir une alimentation continue des charges. Le formalisme THPN (Timed Hybrid Petri Net) est utilisé pour modéliser le fonctionnement du système. L'objectif est de maximiser l'utilisation de la production PV, limiter le temps d'accès à la batterie et la protéger contre les surcharges et les charges profondes.

Certains travaux [7-10], étendent ainsi l'approche diagnostiqueur aux Systèmes à Événements Discrets (SED) modélisés par des RdP. Cependant, aucune de ces approches ne considère les aspects continus ou même les incertitudes sur la connaissance et les observations du système.

Ce papier présente en détail une démarche à suivre pour la mise en œuvre d'un modèle de surveillance. Le manuscrit est subdivisé en deux sections : la première s'intéresse à l'étude du principe de fonctionnement de la retordeuse ainsi que la problématique de surveillance et la solution proposée. La deuxième partie est consacrée à la présentation des algorithmes de surveillance de la machine. Ces algorithmes, suppose l'existence d'un modèle du système surveillé. Ce dernier doit intégrer la fonction de détection directe qui consiste à observer l'apparition des symptômes de défauts signalés par les capteurs.

2. La machine retordeuse

Photonic crystals (PhC) are periodic dielectric material with the capability to control and manipulate light propagation. Fig.1 shows the most important characteristics of optical crystals. The host structure of PhC, 2D triangular lattices, consisting of rods in air with radius $r = 0.24\mu\text{m}$, period $a = 0.4\mu\text{m}$ and size of photonic crystal is 21×21 . In this work, we fixed the value of the period (a) because we noticed during changing it that it does not affect PBG and we played on the radius starting from its lowest value, which is the point of disappearance PBG to the largest value, which is the the point of the impossibility of designing the shape to overlap it, through which we obtained the largest PBG i took it as a reference and use dit in the next design.

2.1 Présentation

La retordeuse est une machine chargée de réaliser le bobinage. Sa mission est d'exercer une force de torsion sur les multi-filaments assemblés afin d'obtenir un fil solide et résistant et de l'enrouler sur une bobine de réception initialement vide, figure 1.

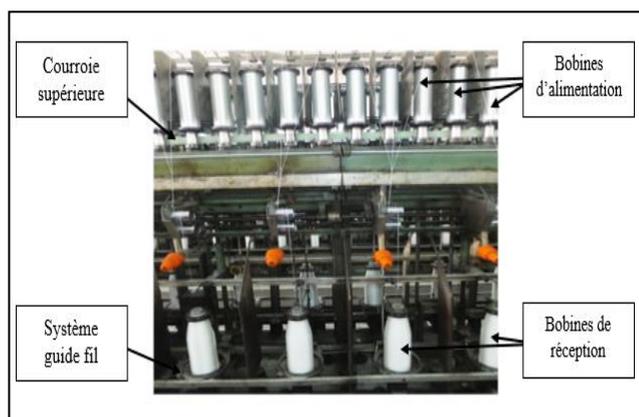


Fig. 1. Machine retordeuse.

La machine retordeuse, est constituée essentiellement, figure 2, de :

- deux capteurs de vitesse (vitesses des deux broches supérieure et inférieure),
- deux capteurs de fin de course (butées de fin de course),
- des capteurs informationnels sur la course (montée ou descente) du curseur. Ces capteurs sont :
 - S410 : capteur niveau haut,
 - S411 : capteur niveau bas,
 - S413 : capteur de niveau conique,
 - S432 : capteur de niveau conique supérieur

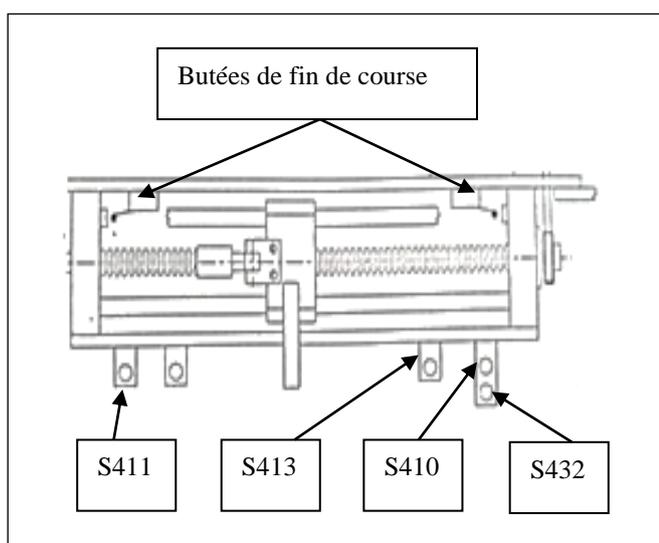


Fig.2 . Butées et capteurs fins de course.

2.2 Types de bobines

La retordeuse est équipée d'un sélecteur permettant de sélectionner la forme géométrique de la bobine. Ce sélecteur permet le choix entre trois types de bobines :

- Bobine à joues ou à course constante

Suite à ce choix, seulement les capteurs de niveau haut S410 (resp. S411) sont mis en service. Pour ce type de bobine, le mouvement du curseur est uniforme afin de garantir une répartition uniforme du fil, figure 3.

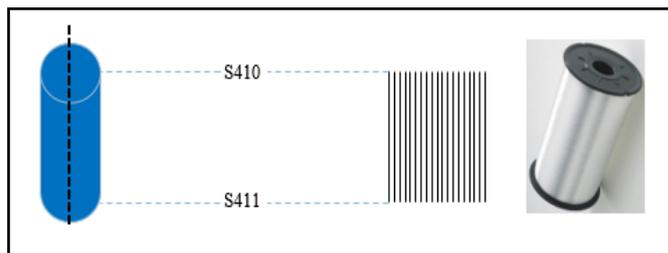


Fig. 3. Bobine à joue.

- Bobine à forme conique simple

Cette forme est obtenue en sensibilisant les capteurs de niveau haut (respectivement niveau bas) S410 (respectivement S411) et de niveau intermédiaire S413. Ce dernier permet d'obtenir la forme conique à la zone supérieure de la bobine, figure 4.

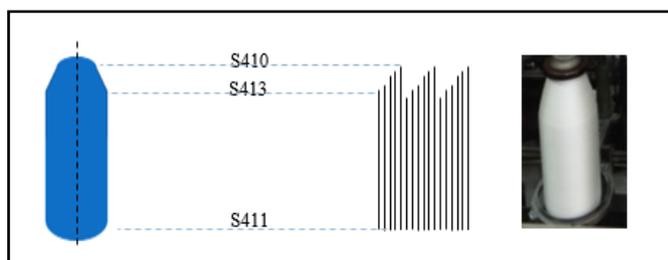


Fig. 4. Bobine à forme conique simple.

- Bobine à forme conique supérieure

Pour obtenir cette forme, le sélecteur doit être positionné à «3».

2.3 Défauts de bobines

Le but principal de ce papier est de surveiller la qualité des fils et la forme géométrique de la bobine. La figure 5, illustre la différence entre une forme conique conforme et non conforme.

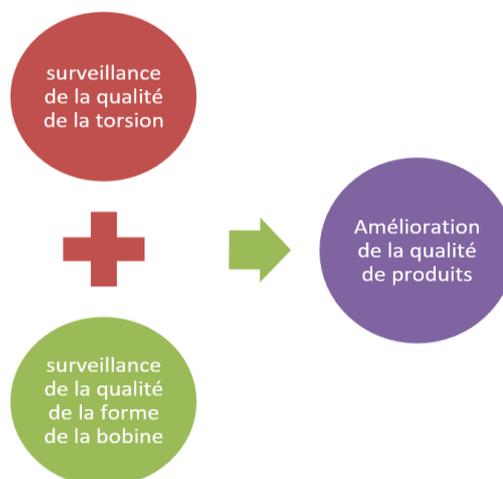


Fig .6. Principe de la surveillance



Fig .5. Formes coniques conformes et non conformes

Face aux défauts constatés, il est impératif de mettre en place une politique surveillance afin d'améliorer la qualité des produits. Dans ce cadre, notre contribution consiste à développer et implanter des algorithmes de surveillance de la qualité de produits en agissant sur la qualité des fils et la forme géométrique des bobines.

3. Surveillance de la retordeuse

3.1 Principe

Afin de surveiller la qualité des produits, des algorithmes de surveillance ont été développés. Ces algorithmes ont pour objectif l'amélioration de la torsion des fils et la forme géométrique de la bobine. Cette solution vise à améliorer la productivité, la disponibilité et la fiabilité de la machine, figure 6.

3.2 Les réseaux de Petri Interprétés à Signal Hybride

[9]

Les algorithmes de surveillance de la qualité des fils de la machine retordeuse sont élaborés à base des Réseaux de Petri Interprétés à Signal Hybride (RdPISH)

Définition formelle du RdPISH

Un RdPI est un 10-uplet $(P, T, F, m_o, V, I, O, \varphi, \Omega, D)$ ou :

- (P, T, F, m_o) est un Réseau de Petri ordinaire, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, et $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, deux ensembles finis disjoints de places et de transitions ; $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ est l'ensemble des arcs orientés reliant les places aux transitions (les transitions aux places), et m_o représente un marquage initial avec $|P|, |T|, |F| > 0$
- V l'ensemble non vide des variables locales, $|V| > 0$
- I l'ensemble non vide des variables d'entrées $|I| > 0$
- O l'ensemble non vide des variables des sorties $|O| > 0$ et $V \cap I = V \cap O = I \cap O = \emptyset$
- φ est la fonction associée à la transition $t_i \in T$ avec une condition de déclenchement
 $\varphi(t_i) =$ une fonction booléenne des variables (I, V)
- Ω est la fonction opération associée à la place $p_i \in P$, $\Omega(p_i) =$ une fonction opérationnelle sur les variables (V, O)
- D la variable attribué à chaque $d \in V \cup I \cup O$ de type numérique selon la norme IE61131, $D(d) : V \cup I \cup O \{BOOL, INT, REAL, TIME\}$

3.3 Algorithmes de surveillance

3.3.1 Abréviations

Le tableau 1, regroupe la liste des abréviations utilisées dans les algorithmes de surveillance de la retordeuse.

Tableau 1: Abréviations

ALG :Algorithme	DMR V1 : démarrage du variateur de vitesse du moteur 1
M : Moteur	DMR V2 : démarrage du variateur de vitesse du moteur 2
V : Vitesse du moteur	DMR V3 : démarrage du variateur de vitesse du moteur 3
Vm : Vitesse moyenne	DMR V=1 : commande de marche
Rv : Rapport de vitesse	DMR V=0 : commande d'arrêt
m : mesure	Sens R M3 : commande du sens de rotation du moteur 3
i : compteur	Sens R M3=1 : commande du sens de rotation vers le haut
BM :Bouton de Marche	Sens R M3=0 : commande du sens de rotation vers le bas
BA : Bouton d'Arrêt	M3 H : moteur 3 vers le haut
AUR :Arrêt d'urgence	M3 B : moteur 3 vers le bas
BSH : Butée de fin de course haut	VD10 : variable de temps à l'entrée du temporisateur
BSB : Butée de fin de course Bas	ALv : alarme variateur
capH : capteur haut (supérieur)	AL_défaut_torsion : alarme indiquant un défaut de torsion des fils
capIt : capteur intermédiaire	AL_défaut_forme_bobine :alarme indiquant un défaut de la forme géométrique de la bobine
capB : capteur bas (inférieur)	C0 : Condition de la vitesse de la montée
sens H : le sens haut est établi	C1 : Condition de la vitesse de la descente
sens B : le sens bas est établi	

3.3.2 Algorithme de surveillance de la machine

retordeuse

A/ Présentation

La figure 7 présente la structure de l'algorithme de surveillance principal de la machine retordeuse. Cet algorithme fait appel à quatre sous-algorithmes présentés dans la section suivante.

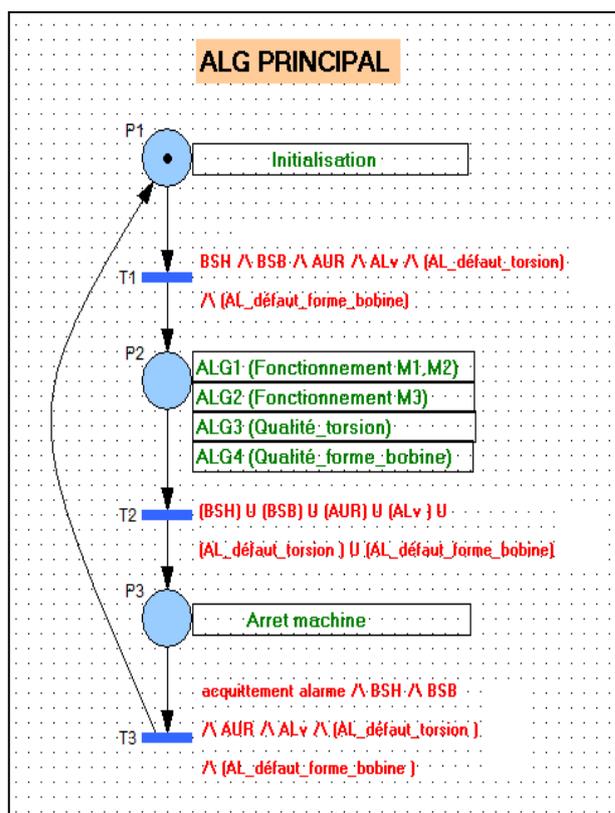


Fig. 7. Algorithme principal de surveillance de la retordeuse

B/ Principe de fonctionnement

Le franchissement de la transition T1 est réalisé si les conditions initiales sont satisfaites (butées de fin de courses, bouton d'urgence et les alarmes sont désactivés). La deuxième place « P2 » fait appel aux algorithmes de fonctionnement des trois moteurs (ALG1 et ALG2) ainsi que les algorithmes de surveillance (ALG3 et ALG4). Le franchissement de la deuxième transition « T2 » est conditionné par l'activation des butées de fin de course. Dans ce cas une alarme est générée et un arrêt impératif de la machine (place P3) est revendiqué. L'acquiescement de l'alarme permet de reprendre la production.

C/ Algorithme de surveillance de la qualité de torsion des fils (ALG3)

C-1/ Structure de l'algorithme

La figure 8, presente l'algorithme de surveillance de la qualité de torsion des fils.

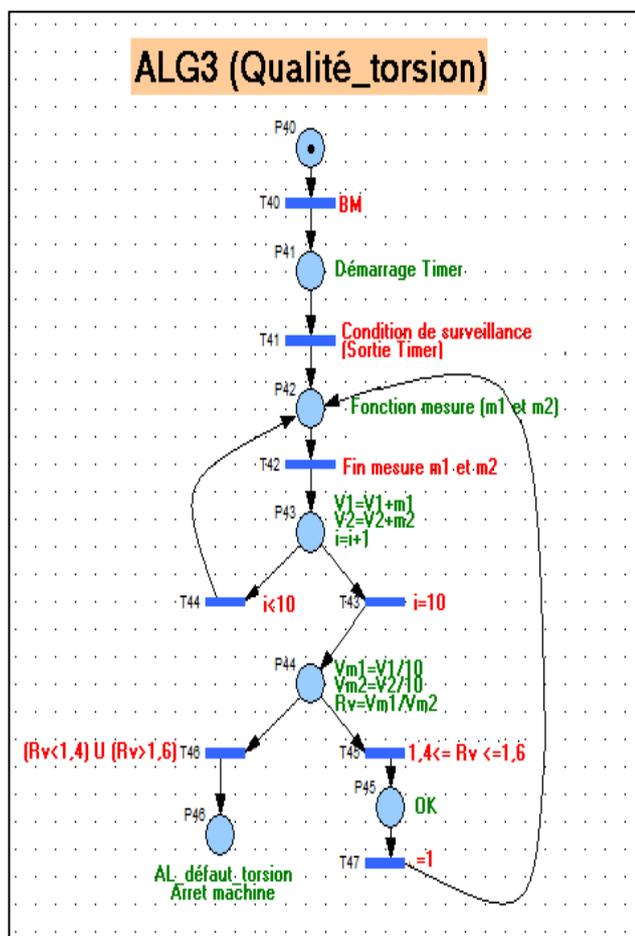


Fig .8. Algorithme de surveillance de la qualité de torsion des fils

C-2/ Description de l’algorithme ALG3

L’appui sur le bouton de marche, 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. Ces vitesses sont obtenues après l’écoulement de dix impulsions successives.

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. Pour la retordeuse sujet de notre étude, si le rapport de vitesse $Rv \in [1,4 \dots 1,6]$, dans ce cas, les fils sont qualifiés de qualité. Dans le cas échant ($Rv < 1,4$ ou $Rv > 1,6$), un arrêt immédiat de la machine est imposé et une alarme est déclenché informant l’opérateur de la mauvaise qualité de torsion (place P46), figure 8.

D/ Algorithmes de surveillance de la qualité de la forme géométrique de la bobine (ALG4)

La surveillance de la forme géométrique de la bobine, est structurée sur le suivi de la variation de la vitesse du moteur du guide fil M3, figure 9 :

- **Phase 1 :** Changement de la commande (du bas vers le haut ou inversement)

Dans cette phase, il est indispensable de surveiller le temps de montée et de la descente lors de la variation de la vitesse V3. Afin d’éviter les défauts d’accumulation, le temps de changement des broches est estimé à 500 ms. Le dépassement de ce temps génère un défaut de qualité. Dans ce cas une alarme est déclenchée et un arrêt immédiat de la machine est revendiqué.

- **Phase 2 :** Surveillance de la variation de la vitesse V3 au cours de la montée (respectivement la descente).

Dans notre étude, la vitesse du moteur guide fil M3 est estimée à 148 tours/minute. Afin d’éliminer les défauts d’accumulations des fils, cette vitesse doit être respectée avec une marge d’erreur de $\pm 7,4$ tours/ minute pour la montée (resp. la descente) :

Lors de la montée, la vitesse est positive, dans ce cas la condition suivante doit être immédiatement respectée

C0 :
 $140.6 \leq V3 \leq 155.4.$

Si $V3 < 140.6$ ou $V3 > 155.4$, une alarme se déclenche et la machine est arrêtée.

Lors de la descente (vitesse négative), dans ce cas la condition C1 doit être respectée

C1:
 $-155.4 \leq V3 \leq -140.6.$

3.3.3 Implémentation des algorithmes de surveillance

Cette section s’intéresse à l’implémentation des algorithmes de surveillance de la qualité de des fils ainsi que la forme de la bobine obtenue lors de l’opération de retordage.

Notre contribution est d’implanter ces algorithmes de surveillance, développé dans la section précédente, sur un automate programmable S7-1200. Les entrées et les sorties utilisées sont de type T.O.R (à l’exception la vitesse V3 : entrée analogique).

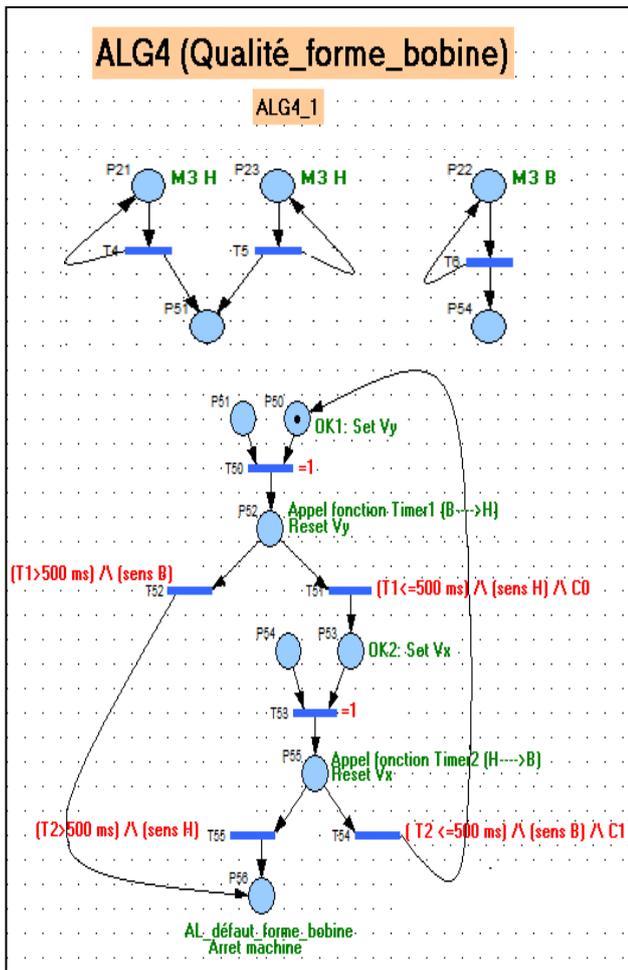


Fig.9. Algorithme de surveillance de la forme géométrique de la bobine phase 1.

A/ Qualité de la torsion des fils

Les causes principales engendrant des défauts de qualité de torsion des fils sont les suivantes :

Surcharge des vitesses V1 ou V2

Les causes de la diminution des vitesses sont principalement des causes mécaniques telles que l'augmentation du coefficient de frottement au niveau des roulements de broches ou la défaillance de la courroie de transmission.

Défaut du capteur de vitesse généré par un mauvais contact ou par la défaillance d'un capteur.

La première phase consiste à tester le bon fonctionnement puis un test des divers cas, illustrant le mauvais fonctionnement.

La figure 10, montre la variation des deux vitesses des broches inférieure (courbe en rouge) et supérieure (courbe en bleu). Les deux vitesses des broches V1 et V2 sont

constantes. La vitesse de rotation de la broche supérieure (resp. inférieure) est estimée à 6000 tours/minute (resp. 4000 tours/minute), figure 10.

La figure 11, illustre la marge de variation du rapport de vitesses (courbe en bleu) : les deux seuils de vitesses sont représentés par des courbes de couleur noire. Le dépassement de ces seuils provoque une génération d'une alarme (courbe en rouge).

■ Bon fonctionnement

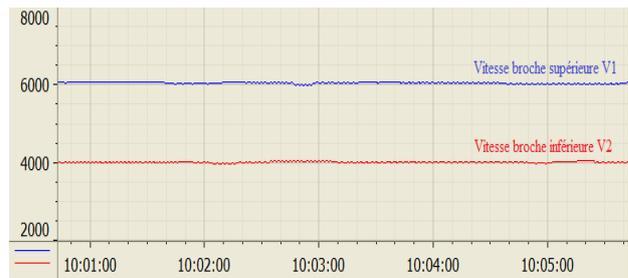


Fig.10. Vitesse des moteurs M1 et M2 (cas de bon fonctionnement)

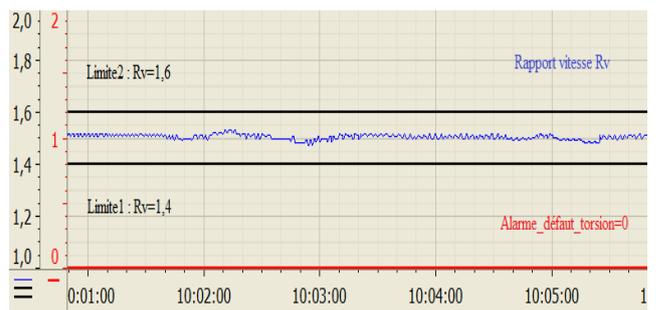


Fig.11. Rapport de vitesse (marge du bon fonctionnement)

■ Mauvais fonctionnement

Surcharge de la vitesse (figure 12 et 13)

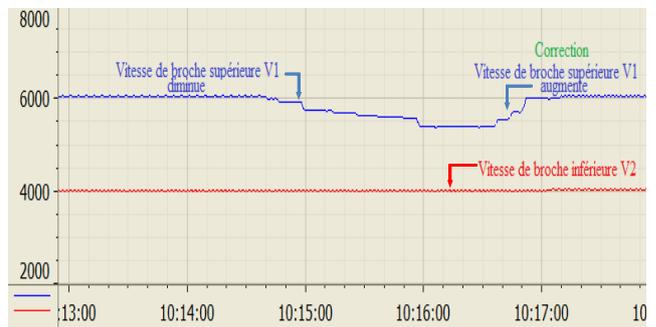


Fig.12. Variation de la vitesse de la broche supérieure V1

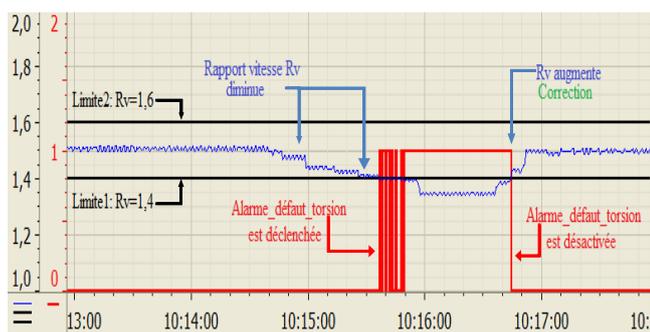


Fig.13. Déclenchement de l'alarme à cause d'un défaut de torsion

Interprétation des courbes

Une légère diminution de la vitesse de la broche supérieure V1, figure 12 provoque une diminution du rapport de vitesse, figure 13. Si le rapport de vitesse coïncide avec la limite inférieure ($Rv=1,4$), une alarme est déclenchée.

Une variation de la vitesse V1, provoque un dépassement du seuil inférieure du rapport de vitesse. Dans ce cas, une alarme est générée indiquant un défaut de torsion des fils, figure 13

■ **Défaillance capteur de broche**

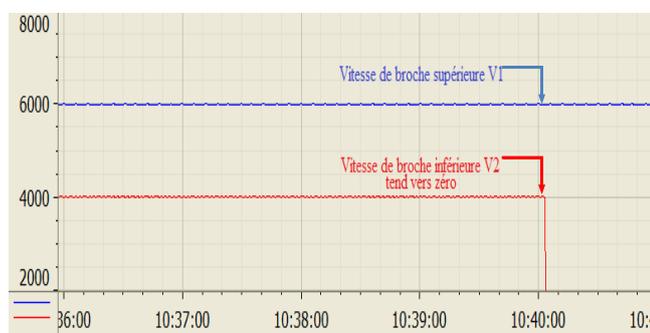


Fig.14. Capteur de broche inférieure défaillant

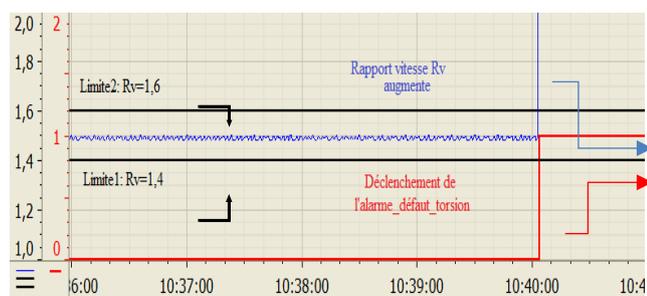


Fig.15. Défaut torsion suite à un défaut de capteur

Interprétation des courbes

L'occurrence de la défaillance du capteur de la broche inférieure est provoquée par un mauvais contact à l'entrée de l'automate (variation de la vitesse V2 de la broche inférieure). De ce fait, la vitesse V2 tend vers zéro, figure 14. Ainsi, le rapport de vitesses Rv augmente et tend vers l'infinie, figure 15. Ceci provoque le déclenchement d'une alarme indiquant un défaut de la qualité de torsion, figure 15.

■ **Défaut système guide fil**

Un dépassement du temps requis pour le changement des broches se traduit par un défaut du système guide fil, figure 16. Lors de changement de la commande, le temps requis pour l'inversement du sens des broches est de 780 ms (dépassement du temps requis de 500 ms). Ce retard est traduit par la génération d'une alarme défaut de forme, figure 17.

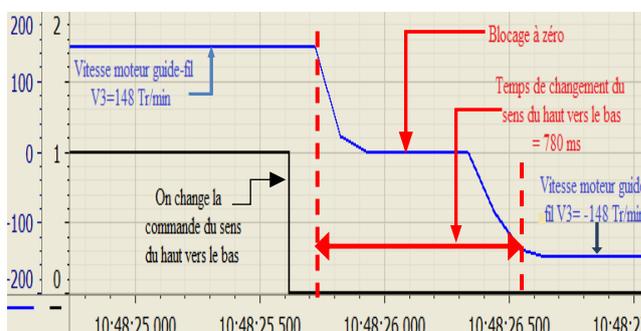


Fig.16. Défaut système guide fil

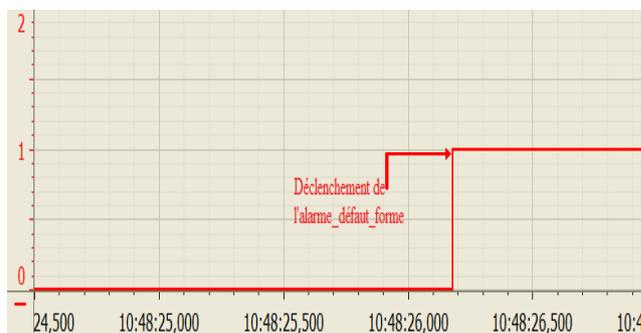


Fig.17. Dépassement de la limite du temps de descente et déclenchement de l'alarme défaut de la forme géométrique

4. Conclusion

Ce papier a présenté une démarche d'amélioration de la qualité de produits d'une machine retordeuse. Notre contribution consiste à développer une stratégie de surveillance de la qualité des fils et la qualité de la forme géométrique de la bobine à base des RdP interprétés.

La première section a présenté la machine retordeuse et de ses constituants. Le développement des algorithmes de

fonctionnement et de surveillance et la programmation sur automate constituent les principales contributions de ce papier.

En perspectives, il serait intéressant de développer une réflexion spécifique concernant la l'implémentation des algorithmes de maintenance sur la machine retordeuse. Les actions de maintenance peuvent être curatives ou préventives.

References

- [1] Liu, F., Heiner, M., & Gilbert, D. (2019). Coloured Petri nets for multilevel, multiscale and multidimensional modelling of biological systems. *Briefings in bioinformatics*, 20(3), 877-886.
- [2] Taleb-Berrouane, M., Khan, F., & Amyotte, P. (2020). Bayesian Stochastic Petri Nets (BSPN)-A new modelling tool for dynamic safety and reliability analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, 193, 106587.
- [3] Gaudel, Q., Ribot, P., & Chanthery, E. (2015, November). Vers une architecture de surveillance de santé d'un système hybride sous incertitudes. In *Modélisation des Systèmes Réactifs (MSR 2015)*.
- [4] Kučera, E., Haffner, O., Drahoš, P., Cigánek, J., Leskovský, R., & Štefanovič, J. (2020). New software tool for modeling and control of discrete-event and hybrid systems using timed interpreted petri nets. *Applied Sciences*, 10(15), 5027.
- [5] Quentin G., Chanthery, E., Ribot, P., & Daigle, M. J. (2018). Diagnosis of hybrid systems using Hybrid Particle Petri nets: theory and application on a planetary rover. In *Fault Diagnosis of Hybrid Dynamic and Complex Systems* (pp. 209-241). Springer, Cham.
- [6] Fendri, D., & Chaabene, M. (2019). Hybrid Petri Net scheduling model of household appliances for optimal renewable energy dispatching. *Sustainable cities and society*, 45, 151-158.
- [7] Yuan, C., Liao, Y., Kong, L., & Xiao, H. (2021). Fault diagnosis method of distribution network based on time sequence hierarchical fuzzy petri nets. *Electric Power Systems Research*, 191, 106870.
- [8] Chouchane, A., Declerck, P., Khedher, A., & Kamoun, A. (2020). Diagnostic based on estimation using linear programming for partially observable Petri nets with indistinguishable events. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 7(2), 192-205.
- [9] Zeng, Y., Duan, R., Feng, T., Huang, S., & He, J. (2021). A fault diagnostic system based on Petri nets and gray relational analysis for train-ground wireless communication systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 235(6), 1102-1117.
- [10] Wang, C., Gou, J., Tian, Y., Jin, H., Yu, C., Liu, Y., ... & Xia, Y. (2021). Reliability and availability evaluation of subsea high integrity pressure protection system using stochastic Petri net. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 1748006X211049900.