الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا

Ecole national supérieur de technologie

Département : Génie électrique Et Informatique Industrielle

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

Master

Spécialité
Automatique et informatique industrielle

Thème

Amélioration de processus de nettoyage en place (NEP)

Réalisé par

YAMANI Ahcene
HAMMOUDI Mohcene

Composition du Jury :

Président	M. CHERABIT Nouredine,	MAA	ENST
Encadrante	Mme. OUSAADI Zahira,	MAA	ENST
Examinatrice	Mme. AMRI Amina,	MCA	ENP
Examinateur	M. DERMOUCHE Reda,	MAA	ENST

Alger, le 01/07/2023

Année universitaire 2022 –2023

Remerciement

Tout d'abord, nous souhaitons remercier chaleureusement notre encadrante de l'ENST, Madame Z. Ousaadi, pour son soutien précieux et ses conseils avisés tout au long de cette aventure académique. Sa disponibilité, son expertise et son accompagnement ont été déterminants pour notre progression et la concrétisation de nos objectifs.

Nous souhaitons également exprimer notre profonde reconnaissance envers notre promoteur au sein de l'entreprise Bel Algérie, Monsieur M. Chaiani, responsable de la maintenance. Nous tenons aussi à adresser nos remerciements chaleureux à l'expert process, Monsieur R. Djebbar, ainsi qu'à l'automaticien, Monsieur T. Brihi, pour leur collaboration précieuse tout au long de cette expérience. Leur soutien indéfectible, leurs idées novatrices et leur dévouement ont enrichi notre projet et nous ont permis de relever les défis avec confiance.

Table des matières

Introduction....1
I. Processus de nettoyage en place....2
II. NEP de la ligne de distribution BL2....4
II.1 Circuit NEP....6
II.2 Grafcet de NEP....8
II.3 Gestion des étapes....9
III. Difficultés rencontres au niveau de NEP....11
IV. Amélioration de la technique NEP....12
IV.1 Avantages de mesure par un conductivimètre....13
IV.2 Caractéristique du capteur utilisé....13
IV.3 Evolution de la conductivité en fonction des ions....16
IV.4 Phase de tests du NEP :....17
Etape 1 : Envoie des eaux blanches....18
Etape 2 : Envoie de la première soude....18
Etape 3 : Envoie de la deuxième soude....20
Etape 4 : Envoie de l'acide....21
Etape 5 : Lancement du rinçage long du circuit....22
Conclusion....24
II. Références et bibliographies :....25

Table de figures

Figure 1 Schéma général de NEP [7] 2
Figure 2 Les étapes du NEP 4
Figure 3 Fil de temps de NEP 5
Figure 4 Circuit de nettoyage de la boucle [4] 6
Figure 5 Chemin de NEP de la boucle [8] 6
Figure 6 la cuve BL2 et les éléments au début de la boucle 7
Figure 7 Chemin de NEP de la pompe SEEPEX [8] 7
Figure 8 ligne de distribution de la cuve BL2 vers les postes de conditionnement 8
Figure 9 Grafcet NEP-1- 8
Figure 10 Grafcet NEP-2- 9
Figure 11 fenêtre de commande du NEP BL2 depuis SCADA du système 10
Figure 12 Forçage d'une étape NEP 11
Figure 13 L'emplacement de conductivimètre [4] 12
Figure 14 Smartec CLD18 13
Figure 15 Montage de capteur dans la tuyauterie 14
Figure 16 Raccordement électrique du capteur [5] 14
Figure 17 fils de raccordement de Smartec CLD18 15
Figure 18 Module d'entrée analogique AI I 4WIRE ST 15
Figure 19 évolutions de la conductivité en fonction de la concentration 16
Figure 20 schéma descriptif de la relation entre la conductivité et la concertation 17
Figure 21 archivage du capteur lors de phase de récup des eaux blanches 18
Figure 22 lancement de la première soude 19
Figure 23 étape de nettoyage « soude 1 » 19
Figure 24 envoie de la deuxième soude 20
Figure 25 étape de nettoyage « soude 2 » 21
Figure 26 envoie de l'acide et sa conductivité dans le circuit 21
Figure 27 étapes de nettoyage "acide" 22
Figure 28 lancement du rinçage long 23
Figure 29 fin de l'étape rinçage long avec la conductivité de la boucle nulle 23

Liste des tableaux

Tableau 1 Consignes de lavage cuve BL2 5

Liste des abréviations :

NEP Nettoyage en place

PH Potentiel Hydrogène

CIP Clean In Place

UHT Ultra-Haute Température

BL2 Brassage léger 2

AI Analog input

ST Standard

API Automate programmable industriel

PN Profinet

DP Périphérie décentralisée

AXVB Vanne numéro B de la zone A

Introduction

Dans l'industrie agroalimentaire, le nettoyage en place (NEP) est un processus essentiel pour assurer des normes d'hygiène élevées dans la production des aliments. Le NEP consiste à nettoyer et à désinfecter les équipements de fabrication sans les démonter, ce qui permet d'économiser du temps et des ressources. Ce processus est crucial pour prévenir la contamination dans les circuits de production, garantir la sécurité alimentaire et maintenir la qualité des produits.

Cependant, malgré son importance, le nettoyage en place peut encore présenter des défis. Les méthodes traditionnelles de NEP sont souvent manuelles, comme l'incorporation manuelle des solutions dans le circuit de lavage et les prélèvements lors de la mesure du pH, ce qui peut entraîner des erreurs humaines, une variabilité dans les résultats et une consommation excessive de produits chimiques et d'eau. Afin d'améliorer l'efficacité et la fiabilité du processus de NEP, l'automatisation est de plus en plus adoptée dans l'industrie agroalimentaire.

Dans le cadre de notre travail, nous nous concentrons sur l'amélioration du processus de NEP en introduisant des capteurs de conductivité. Ces capteurs sont utilisés pour mesurer la concentration des produits chimiques dans les solutions de nettoyage, ce qui permet un contrôle précis et en temps réel des concentrations des solutions dans le circuit.

I. Processus de nettoyage en place

La technique de nettoyage en place (NEP) ou CIP (Cleaning in Place) est une opération utilisée dans l'industrie agroalimentaire qui a pour mission de nettoyer les lignes de production à intervalles prédéfinis en fonction du type de produit [1]. Dans notre cas, au sein de l'entreprise Bel Algérie, cette technique est nécessaire pour garantir un environnement stérile conforme aux normes de standard. Elle est appliquée trois fois par semaine en envoyant des solutions dans les circuits de production afin d'éliminer les résidus de fromage restant dans les lignes, prévenant ainsi tout risque de contamination. Les solutions utilisées sont l'acide, la soude ainsi que l'eau, qui sont acheminées à travers le système d'équipement en utilisant des tuyaux, des pompes et des vannes. La Figure 1 montre un schéma illustrant le processus de NEP de manière générale.

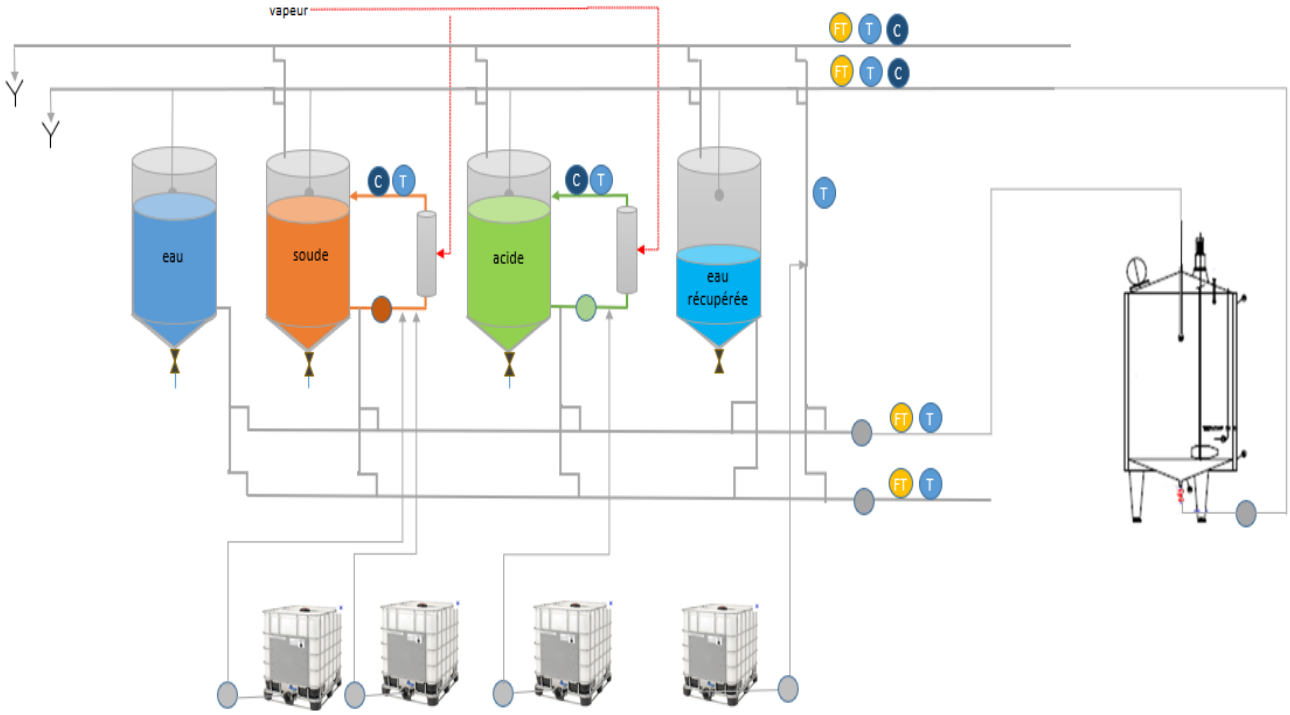


Figure 1 Schéma général de NEP [7]

Les paramètres de cette technique NEP jouent un rôle décisif dans l'efficacité et la durée du nettoyage. Quatre paramètres influent sur ce processus et doivent être pris en compte lors de sa mise en œuvre [2]. Ces paramètres sont déterminés par la nature et l'état d'hygiène du matériel sur lequel la saleté est présente. Les paramètres à considérer sont les suivants :

Temp de nettoyage : Il est important de déterminer soigneusement la durée de nettoyage au détergent pour obtenir un nettoyage optimal. Il faut tenir compte des couts lies aux ressources exploiter pour réussir cette technique. Les solutions doivent circuler suffisamment de temps pour quelle soient efficace, la durée nécessaire dépend de plusieurs facteurs chimiques, thermodynamique et mécanique. Par conséquent il est important de trouver l'équilibre entre l'efficacité du nettoyage et les coûts associés.

Température : La températures des solutions jouent un rôle crucial dans le processus de NEP ou elles influent sur son l'efficacité. La température élevée augmente l'efficacité du détergent en accélérant les réactions chimiques et en facilitant la dissolution des résidus. Cependant, il est important de respecter les recommandations du fabricant du détergent par exemple dans le cas d'acide ou de soude sont deux solutions avec des propriété physique et chimique déférente ce qui signifie que des températures extrêmes peuvent êtres moins efficacité.

L'action mécanique : Cette technique facilite le contact entre les impuretés et la solution détergente. Elle peut être réalisée par l'augmentation de la turbulence dans les circuits ou l'application de pression et augmentation de débit circulant dans la ligne. Cette action mécanique permet d'améliorer sont l'efficacité.

Concentration des détergents : Il est nécessaire d'ajuster la quantité de détergent dans la solution en fonction de la concentration appropriée avant de débuter le processus de nettoyage. Au cours du nettoyage, la solution est diluée par l'eau de rinçage et les résidus de fromage. Il est donc important d'utiliser un détergeant à une concentration bien étudier.

Le NEP se compose généralement de cinq étapes, comme indiqué dans le diagramme de la Figure 2 où nous avons résumé et illustré les étapes du NEP, qui sont les suivantes :

- **Étape 1 :** Prérinçage, qui consiste à envoyer une quantité d'eau dans les circuits dans le but de minimiser la quantité de produit restant.
- **Étape 2 :** Dégraissage, qui consiste à envoyer la soude à une température spécifique dans la ligne pendant une période déterminée afin de dégraisser la ligne.
- **Étape 3 :** Rinçage à l'eau, qui vise à contrôler la concentration de la soude pour obtenir une ligne avec un pH neutre.
- **Étape 4 :** Désinfection de la ligne, réalisée en envoyant de l'acide à une température spécifiée dans le but d'éliminer toutes les bactéries présentes dans la ligne.
- **Étape 5 :** Rinçage prolongé, qui consiste à envoyer de l'eau dans le circuit pour contrôler la concentration de l'acide afin d'obtenir une ligne stérile avec un pH neutre.

Ce processus implique des prélèvements réguliers après chaque rinçage afin de s'assurer que le l'indice d'acidité est neutre. Une erreur dans le calcul du pH peut causer des dommages aux tuyauteries et entraîner une non-conformité du fromage, ce qui se traduit par des pertes financières. Il est donc crucial de déterminer le pH avec précision et sans erreur pour éviter ces problèmes.

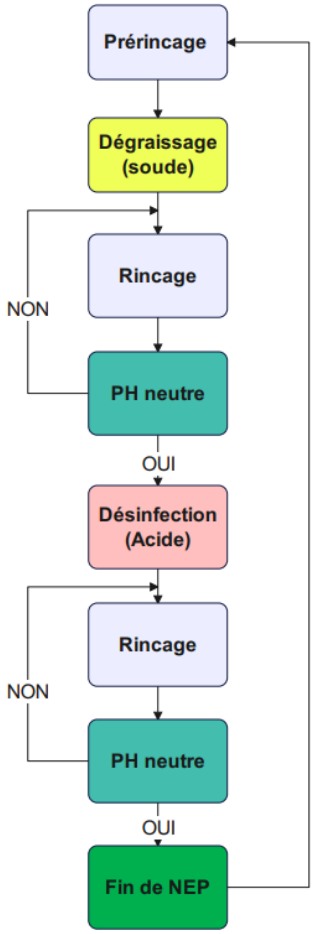


Figure 2 Les étapes du NEP

II. NEP de la ligne de distribution BL2

La ligne de production UHT2, qui fabrique des portions de Vache qui rit, fonctionne en continu pendant 24 heures par jour pendant 5 jours par semaine. Cela signifie que le fromage fondu circule dans les tuyaux pendant toute cette période. Cependant, il est important de noter que le contact prolongé du fromage fondu avec les tuyaux favorise la croissance de bactéries, ce qui peut entraîner un produit non conforme.

Afin de prévenir ce type de problème et de garantir un produit de bonne qualité et conforme aux exigences, la technique de nettoyage en place est la seule solution. La durée maximale pendant laquelle le produit peut circuler dans la ligne tout en restant conforme est de 48 heures, ce qui nécessite l'application de cette solution toutes les 48 heures, soit trois fois par semaine.

Le premier nettoyage en place (NEP) est effectué en début de semaine, avant le lancement de la production. Le deuxième NEP est réalisé après 48 heures, donc au milieu de la semaine, et enfin, le dernier NEP est effectué en fin de semaine. La Figure 3 illustre la planification des NEP dans le temps.

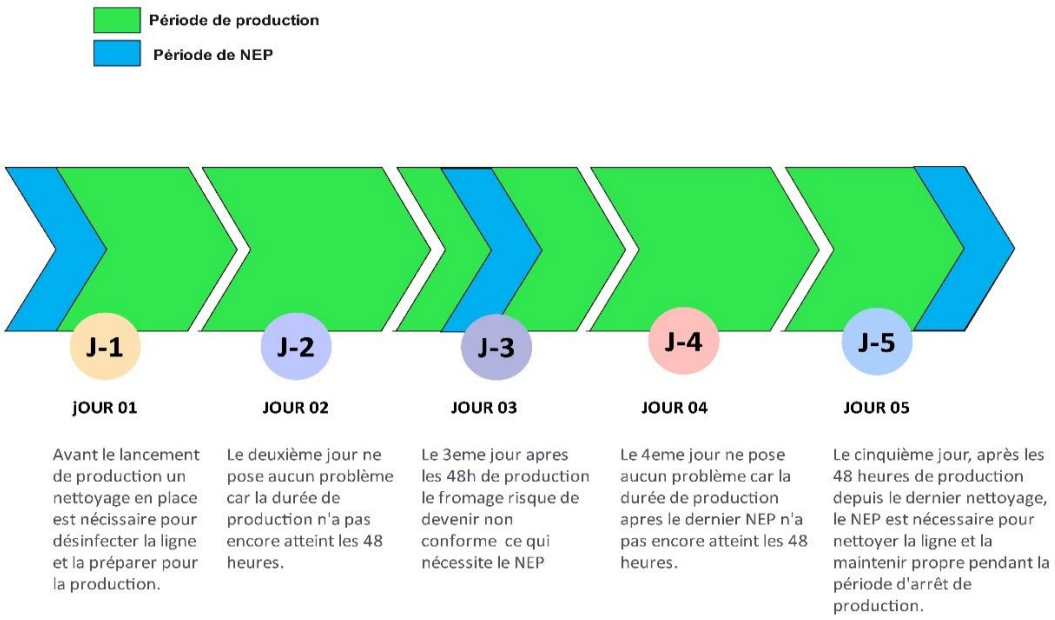


Figure 3 Fil de temps de NEP

Le nettoyage en début de semaine comprend l'utilisation de la soude et de l'acide. La température de la soude reste constante à 80°C [3], elle est envoyée dans le circuit pendant 1000 secondes. L'acide est utilisé pour éliminer les contaminants tels que les résidus organiques du fromage et pour éviter la décomposition des résidus dans les tuyauteries, elle a une température de 65°C, et un seul cycle dure 1200 secondes. Cette étape vise à stériliser le circuit. Le nettoyage en milieu de semaine comprend l'utilisation de 2 soudes et d'un acide. L'utilisation de la soude est nécessaire pour assurer un bon dégraissage, car la production ne s'arrête pas au milieu de la semaine. La première soude est envoyée dans le circuit pendant 1000 secondes, puis la deuxième soude pendant 1200 secondes. Chaque cycle peut être répété plusieurs fois en fonction des consignes de nettoyage et peut durer près d'une heure pour chaque solution. Enfin, l'acide est envoyé dans le circuit. Le nettoyage en fin de semaine est similaire à celui en début de semaine. La durée de rinçage est la même pour tous les nettoyages en place, et un cycle de rinçage dure 600 secondes. Le tableau suivant présente ces consignes [3].

Tableau 1 Consignes de lavage cuve BL2 et le circuit

	Soude 1	**Soude 2**	**Acide**
Début de semaine	- Temps : 1000s - Température : 80°C - Rinçage : 600s		- Temps : 1200s - Température : 65°C - Rinçage : 500s
Milieu de semaine	- Temps : 1000s - Température : 80°C - Rinçage : 600s	- Temps : 2400s - Température : 80°C - Rinçage : 600s	- Temps : 1200s - Température : 65°C - Rinçage : 500s
Fin de semaine	- Temps : 1000s - Température : 80°C - Rinçage : 600s		- Temps : 1200s - Température : 65°C - Rinçage : 500s

II.1 Circuit NEP

Durant le processus de nettoyage en place, la cuve BL2 contient 600 litres de solution. Cette solution est ensuite pompée dans toute la ligne de distribution à l'aide de la pompe de production SEEPEX, en passant par les filtres jusqu'au poste de conditionnement primaire. Le nettoyage de la pompe de production est assuré par une autre pompe Fristam dédiée uniquement au NEP. Le schéma présenté dans la Figure 4 illustre le circuit de nettoyage.

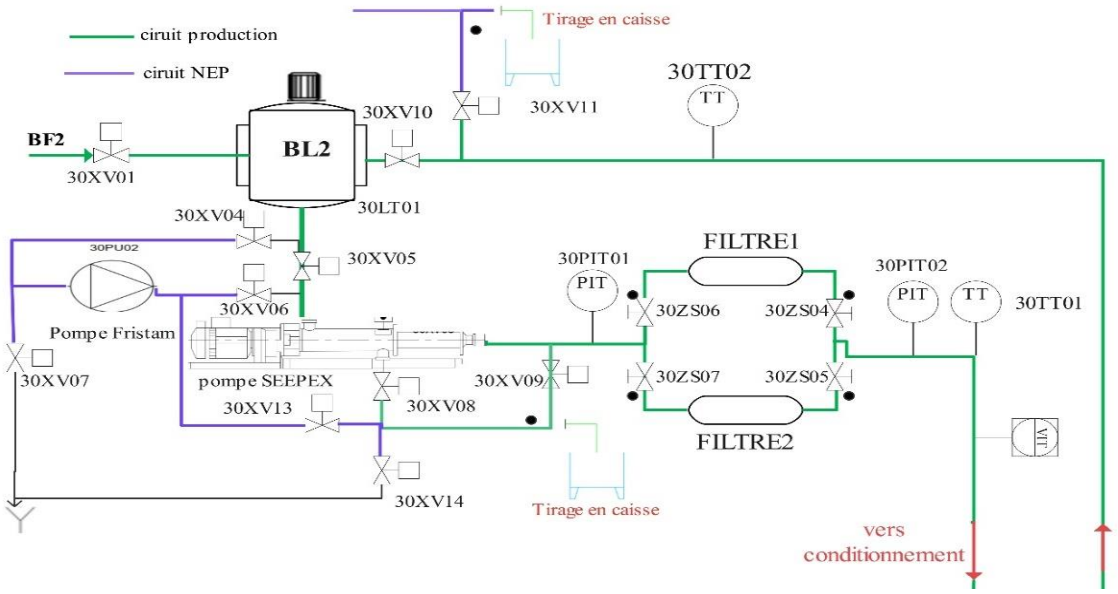


Figure 4 Circuit de nettoyage de la boucle [4]

Lors du nettoyage en place du circuit, les vannes 30XV05, 30XV13, 30XV07 et 30XV11 (Figure 4) doivent être fermées pour s'assurer que les solutions circulent uniquement dans la ligne pendant la période requise. Pour le nettoyage de la pompe, les vannes 30XV06, 30XV09 et 30XV07 seront fermées, tandis que les vannes 30XV04, 30XV05, 30XV13 et 30XV08 seront ouvertes. Cela permettra aux solutions de circuler uniquement dans le circuit de nettoyage de la pompe. Les figures 5 et 6 présentent les chemins de nettoyage.

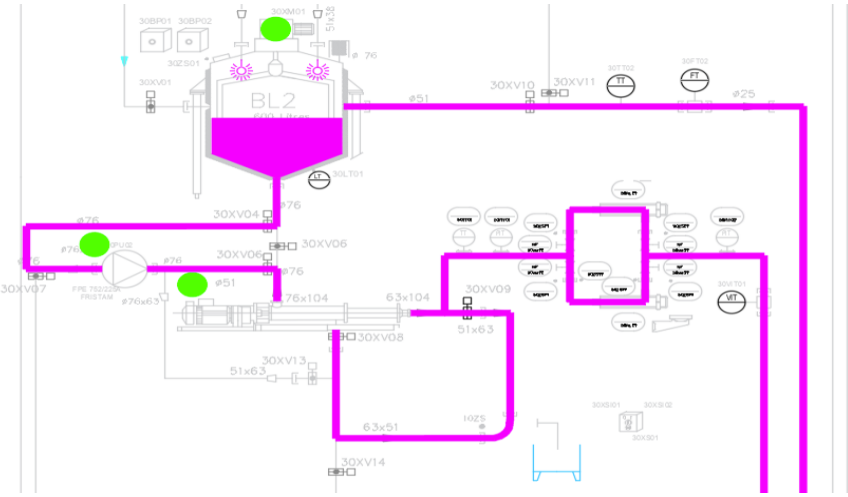


Figure 5 Chemin de NEP de la boucle [8]

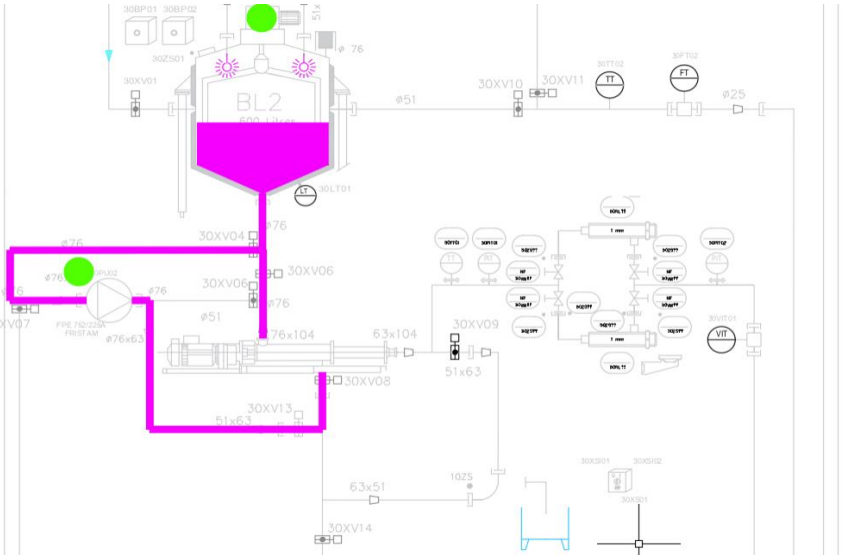


Figure 7 Chemin de NEP de la pompe SEEPEX [8]

La Figure 7 montre la cuve BL2 et les elements constituent le debut de la boucle et La Figure 8 illustre la ligne de distribution de la cuve BL2 vers les postes de conditionement.

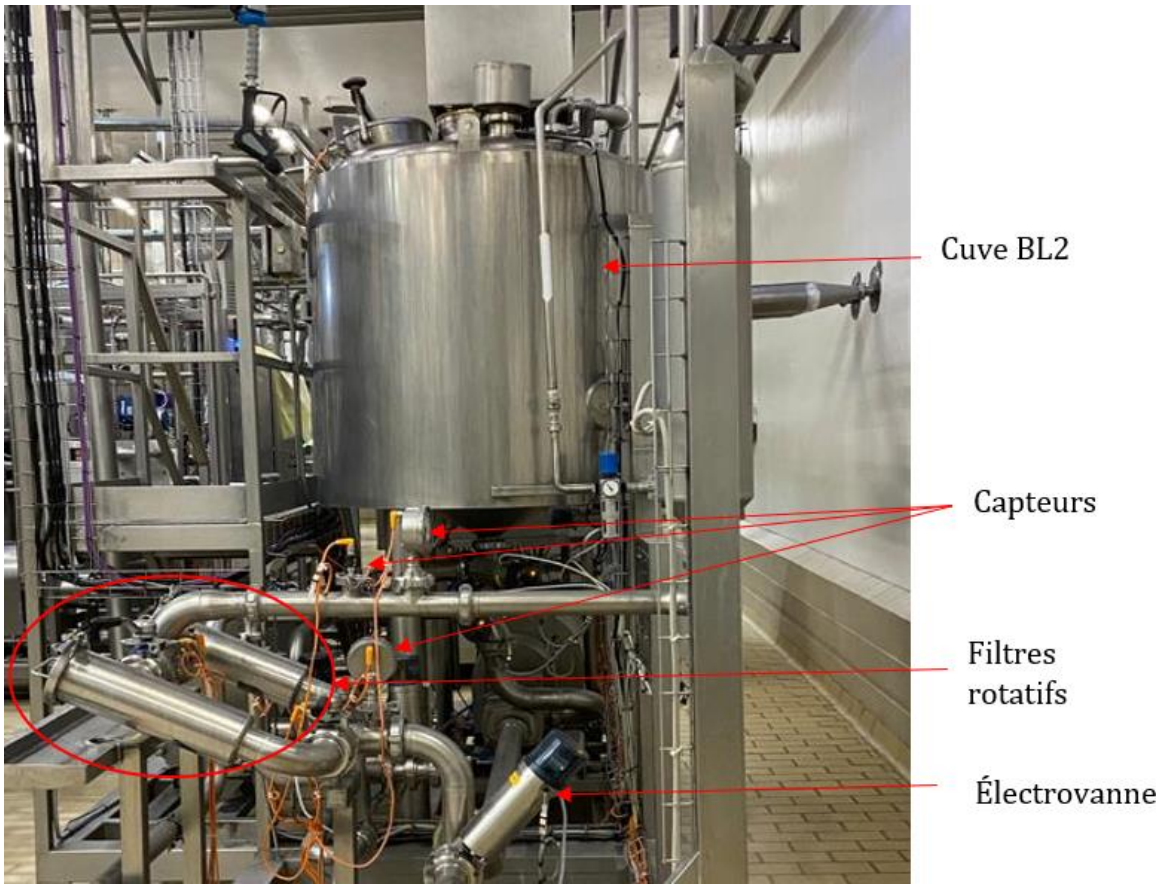


Figure 6 la cuve BL2 et les éléments au début de la boucle

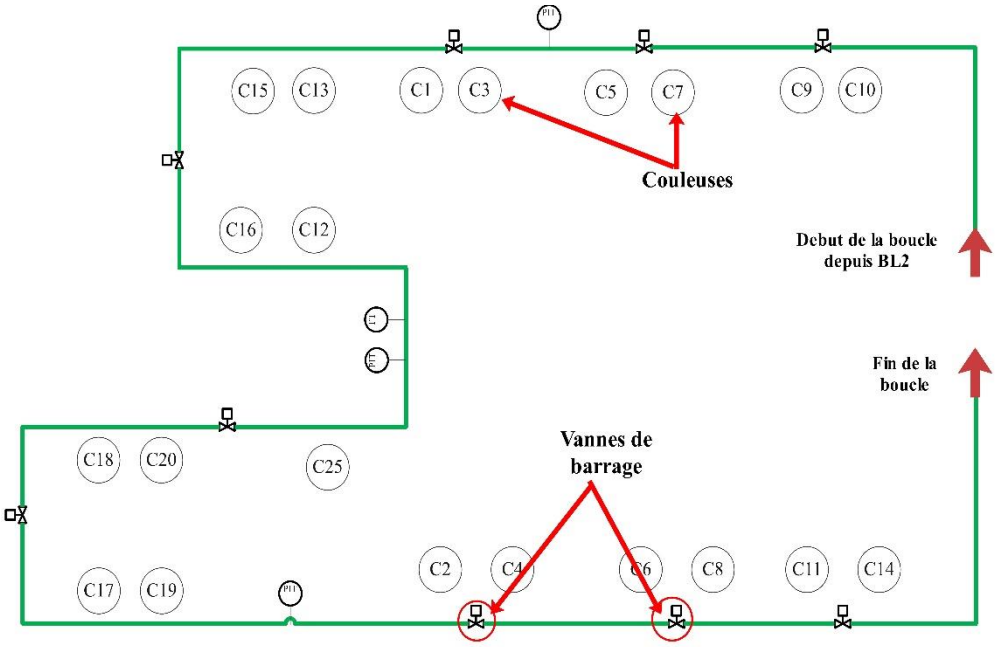


Figure 8 ligne de distribution de la cuve BL2 vers les postes de conditionnement [4]

II.2 Grafcet de NEP

Pour décrire de manière séquentielle et logique les différentes étapes que le système doit suivre pour atteindre l'objectif de cette technique, une représentation graphique de comportement de système est réalisée par le modèle grafcet (figure 9 et 10) Les étapes de ce modèle représentent les différents états ou conditions que peut prendre le système, tandis que les transitions définissent les événements ou les actions qui déclenchent le passage d'une étape à une autre.

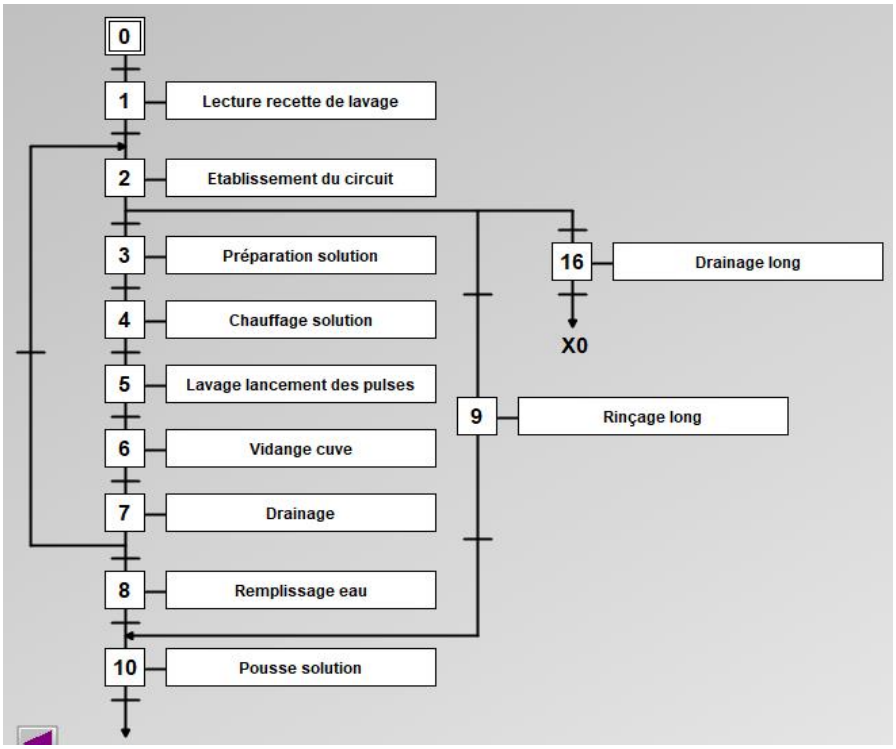


Figure 9 Grafcet NEP-1-

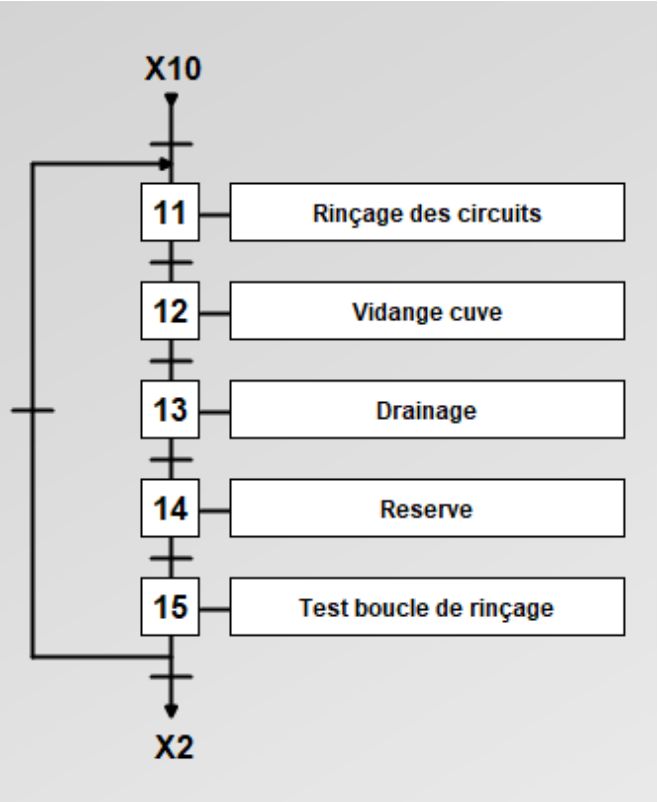


Figure 10 Grafcet NEP-2-

II.3 Gestion des étapes

Ce modèle comporte 16 étapes essentiel pour gérer le fonctionnement de cette technique, ces étapes sont les suivantes :

Etape 0 : initialisation

Etape 1 : lecture recette de lavage ou le conducteur choisi quelle solution à envoyer et quel type de lavage (début, milieu ou fin de semaine), la Figure 11 montre la fenêtre où le conducteur choisi la recette.

Etape 2 : Etablissement de circuit qui sert à définir le chemin que la solution doit suivre.

Etape 3 : Préparation solution ou le conducteur ajoute manuellement la solution dans la cuve BL2.

Etape 4 : Chauffage de solution ou ce fait le processus de chauffage des solutions selon la consigne (soude ou acide) par la vapeur.

Etape 5 : Lavage et lancement de pulses dans cette étape le lavage est commencer par l'ouverture des vannes et le démarrage des pompes pour pomper les solutions dans le circuit

Etape 6 : vidange cuve après l'écoulement du temps de nettoyage la cuve se vide par la pompe Fristam

Etape 7 : Drainage après la vidange de la cuve ou l'eau restant de la ligne se draine pendant la durée définit par le conducteur.

Etape 8 : c'est l'étape de remplissage de la cuve BL2 d'eau d'une quantité de 600L

Etape 9 : Rinçage long ou ce fait l'envoi des 600L dans la boucle pendant la durée définit avec le retour BL2 (circuit fermer) afin de réguler le PH.

Etape 10 : Pousse solution ou ce fait le remplissage de la cuve puis la vider dans le circuit en suite le drainage directement sans retour vers BL2 (circuit ouvert).

Etape 11 : Rinçage des circuits dans cette étape se fait le rinçage de tous les circuits.

Etape 12 : vidange cuve après l'écoulement du temps de nettoyage la cuve se vide par la pompe Fristam

Etape 13 : Drainage après la vidange de la cuve ou l'eau restant de la ligne se draine pendant la durée définit par le conducteur.

Etape 14 : Laisser une quantité d'eau dans le circuit pour le prélèvement.

Etape 15 : Test boucle rinçage où se fait le prélèvement pour tester le PH.

Etape 16 : Drainage long ou l'eau restant de la ligne se draine pendant la durée définit par le conducteur.

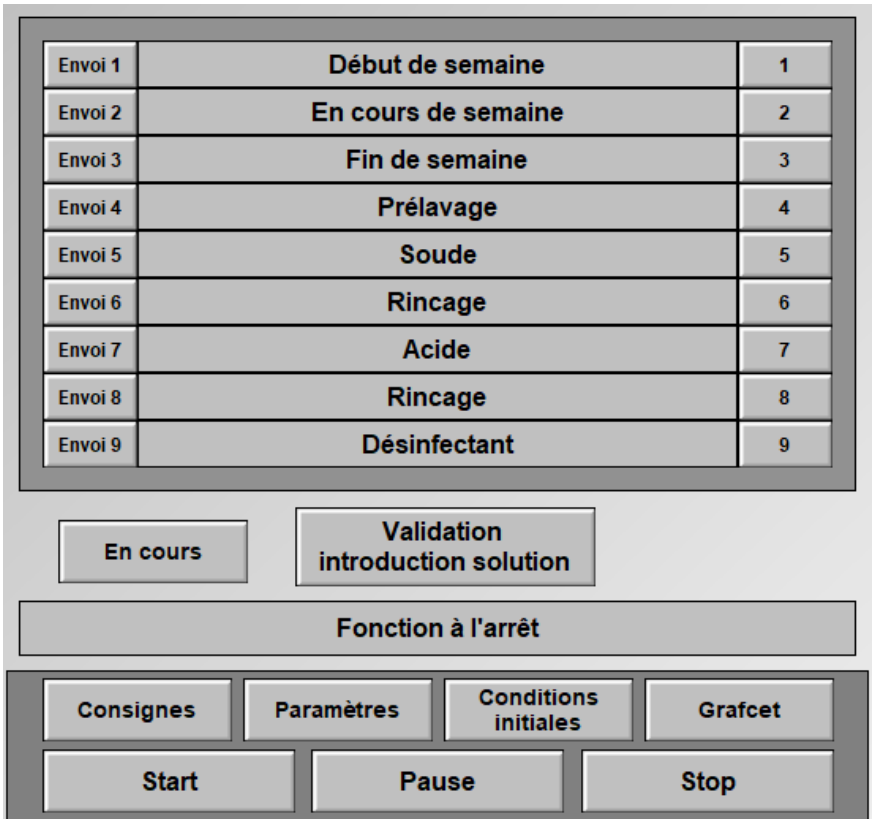


Figure 11 fenêtre de commande du NEP BL2 depuis SCADA du système

L’interface Grafcet offre au conducteur de visualiser dans quelle étape se trouve le système de nettoyage comme il peut forcer n’importe étape du Grafcet (soit à **0** ou à **1**) selon le besoin, le clic sur l’étape montre l’interface de forçage illustrée dans Figure 12.

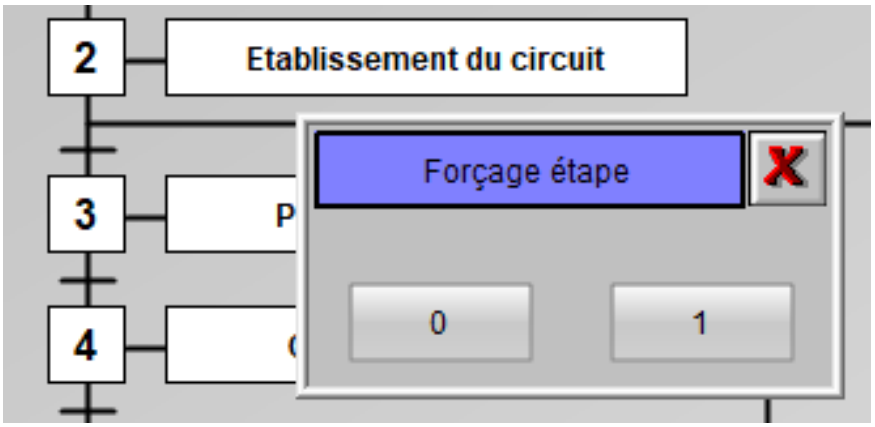


Figure 12 Forçage d'une étape NEP

III. Difficultés rencontres au niveau de NEP

Le processus de nettoyage en place (NEP) nécessite généralement l'utilisation de soude et d'acide pour nettoyer les circuits de production et dissoudre les résidus restants de fromage dans la ligne. Comme nous l'avons vu précédemment dans les grandes étapes du NEP, illustrées dans la Figure 2, après chaque rinçage, l'opérateur de la ligne UHT2 doit effectuer un prélèvement manuel où Il se déplace de la salle de supervision vers le terrain, puis dans le retour de la boucle au BL2, où il effectue un prélèvement (échantillons de la solution). Ensuite, il retourne au laboratoire pour mesurer le PH de la solution, qu'il s'agisse de soude ou d'acide.

L’objectif de la mesure du PH est de renseigner sur la présence ou l’absence des ions dans la solution. Si le PH est neutre, l'opérateur passe à l'étape suivante en forçant l’étape suivante dans le grafcet. Sinon, il répète l'opération de rinçage ou remplit la cuve BL2 avec 600 litres d'eau, puis l'envoie dans le circuit pendant la durée requise. Une fois le temps de rinçage écoulé, l'opérateur doit à nouveau effectuer le test de pH, et ainsi de suite.

Cette méthode de test présents plusieurs inconvénients qui sont :

- Risque d’avoir des accidents de travail lors de déplacement de conducteur dans le terrain pour prendre les prélèvements d’acide et de soude.
- Perte de temps de lavage (plusieurs rinçage).
- Incertitude lors de la mesure manuelle
- Mauvaise traçabilité du PH
- Pas de mesure en temps réel du PH
- Risque de perdre des quantités importantes d’eau lors de rinçage.

IV. Amélioration de la technique NEP

Dans l'objectif de remédier aux problèmes cités précédemment, il donc est nécessaire d'avoir des mesures correctes et d'assurer l'absence des ions des solution d'acide ou de soude après chaque rinçage afin de garantir un nettoyage optimal et une bonne qualité du fromage.

L'absence des ions de la solution dans la ligne de distribution implique une faible conductivité de cette dernière. La présence des ions de la solution dans la ligne implique une forte conductivité de la solution, par conséquent la mesure de la conductivité de la solution nous renseigne sur l'absence ou la présence des ions.

Alors, la solution qui a été choisie en collaboration avec le service de maintenance et de qualité de Bel Algérie est d'installer un capteur de conductivité (conductivimètre) dans le retour BL2, à la fin du circuit, comme illustré sur la Figure 13 (encadré en rouge). Ce capteur permettra de mesurer en temps réel la conductivité des solutions de lavage.

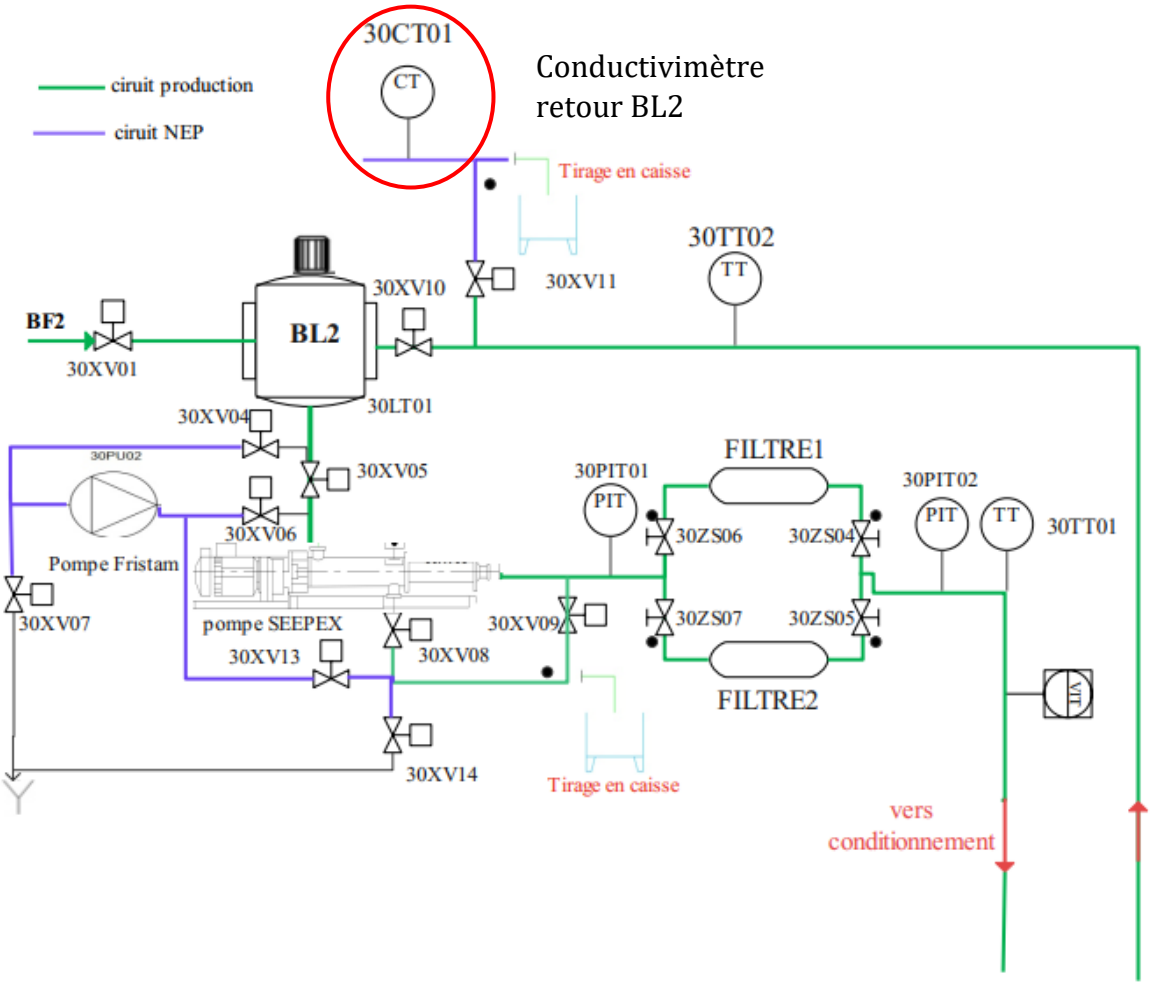


Figure 13 L'emplacement de conductivimètre [4]

IV.1 Avantages de mesure par un conductivimètre

Le conductivimètre est un instrument de mesure utilisé pour mesurer la conductivité des solutions. Lors du rinçage, la mesure de la conductivité est effectuée en temps réel. Le rinçage se poursuit jusqu'à ce que la valeur de conductivité souhaitée soit atteinte, puis le processus de rinçage s'arrête automatiquement. Les avantages offerts par cet instrument dans notre cas sont les suivants :

- Meilleure traçabilité des ions
- Mesure en temps réel
- Gain de temps de lavage
- Gain de quantité d'eau de rinçage
- Eliminer les erreurs de mesures manuelles
- Assurer l'absence des ions dans la boucle
- Meilleure précision lors de la mesure
- Eliminer le risque d'accident de travail lors de rinçage (pas de déplacement du conducteur)

IV.2 Caractéristique du capteur utilisé

Le conductivimètre Smartec CLD18 dispose d'une plage de mesure de 0µs/cm (µsiemens\centimètres) jusqu'à 2000ms/cm, un signal de sortie de 4 à 20mA avec une précision de ±20µA. La Figure 14 montre ce capteur [5].



Figure 14 Smartec CLD18

Le capteur doit être totalement immergé dans le produit. Il ne doit y avoir aucune bulle d'air dans la zone du capteur. Il doit être monté à une distance d'au moins 1 m (3.3 ft) en aval d'un tube coudé. La Figure 15 montre le montage de ce dernier.

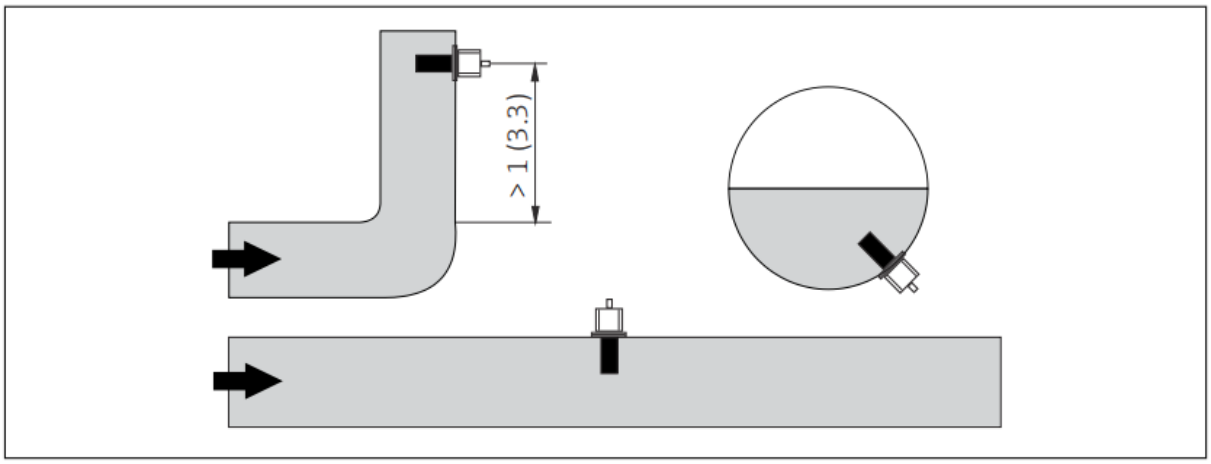
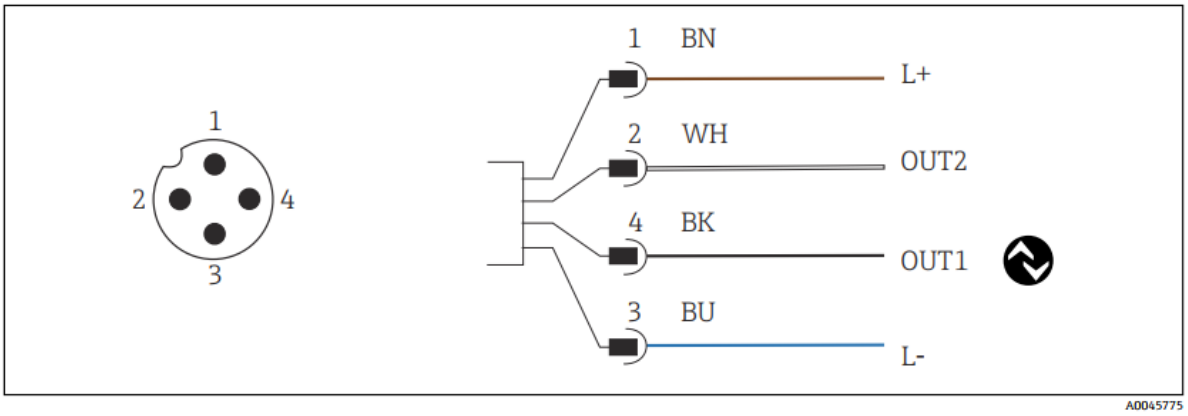


Figure 15 Montage de capteur dans la tuyauterie

Le raccordement électrique de ce capteur avec le module d'entrée analogique de l'ET200s (Figure 18), sachant que l ET200s du BL2 est dans le réseau Profibus-DP dont l'API S7-317 2PN-DP est le maitre classe 1 de ce réseau de la ligne UHT2. Ce capteur dispose de 4 files dont deux fils pour l'alimentation et autre c'est le signal analogique 4/20mA qui porte la formation et le dernier est pour la communication qu'on n'utilise pas. Le schéma de raccordement est illustré dans la Figure 16.



8 Raccordement via le connecteur M12 (codé A)

1 L+
2 OUT2, sortie courant 0/4 à 20 mA
3 L-
4 OUT1, communication IO-Link / entrée SIO pour la commutation de la gamme de mesure

Figure 16 Raccordement électrique du capteur [5]

Nous avons ajouté un module d'entrées analogiques ayant la référence 2 AI I 4WIRE ST dans le module d'extension (ET200s) de l'armoire de la cuve BL2 pour l'acquisition des données du conductivimètres, ensuite nous avons chargé la modification de la configuration matérielle dans le Project STEP7 de la ligne UHT2.

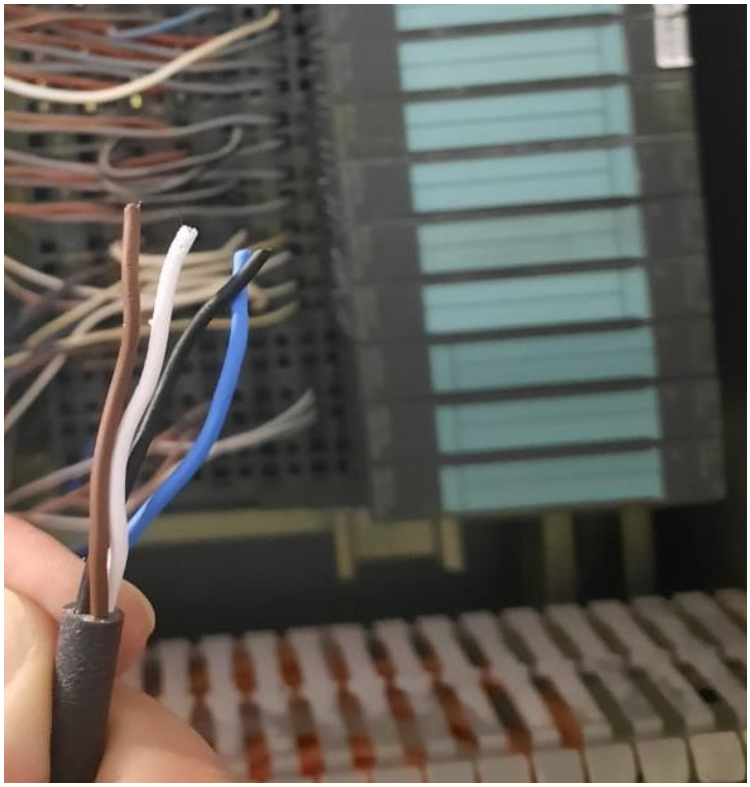


Figure 17 fils de raccordement de Smartec CLD18

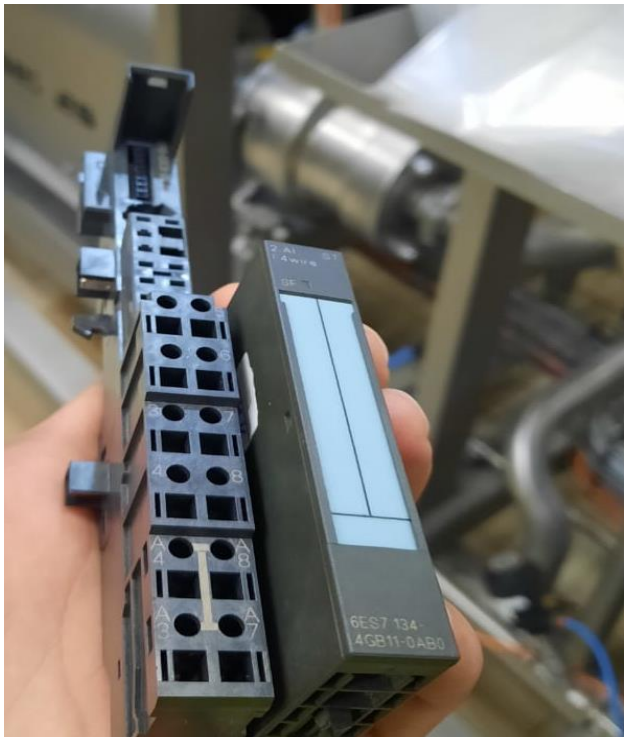


Figure 18 Module d'entrée analogique AI I 4WIRE ST

IV.3 Evolution de la conductivité en fonction des ions

La relation entre la conductivité et la concentration des ions est généralement décrite par la loi de Kohlrausch, également connue sous le nom de loi de Kohlrausch du transport ionique. Cette loi énonce que la conductivité d'une solution électrolytique est directement proportionnelle à la concentration des ions présents dans cette solution [6].

Plus précisément, la conductivité d'une solution dépend de la mobilité des ions et de leur concentration. La mobilité ionique représente la vitesse à laquelle les ions se déplacent dans la solution en présence d'un champ électrique.

Selon la loi de Kohlrausch, la conductivité spécifique d'un ion (κ) est donnée par la formule:

$\sigma = \lambda * C$

où λ représente la conductivité ionique molaire et C la concentration molaire de l'ion. La conductivité spécifique (κ) est mesurée en siemens par mètre (S/m), la conductivité ionique molaire (λ) en siemens par mètre par mole ($S \cdot m^2/mol$), et la concentration molaire (C) en moles par mètre cube (mol/m^3).

La figure 19 nous montre un exemple Matlab sur l'évolution de la conductivité de la solution en fonction de la concentration des ions,

$\sigma = \lambda Cl- [Cl-] + \lambda Na+ .[Na+]$

$\lambda Na+ = 5{,}01\ mS.m^2.\ Mol-1$; $\lambda H3O+ = 34{,}98\ mS.m^2.\ Mol-1$; $\lambda HO- = 19{,}86\ mS.m^2.\ Mol-1$

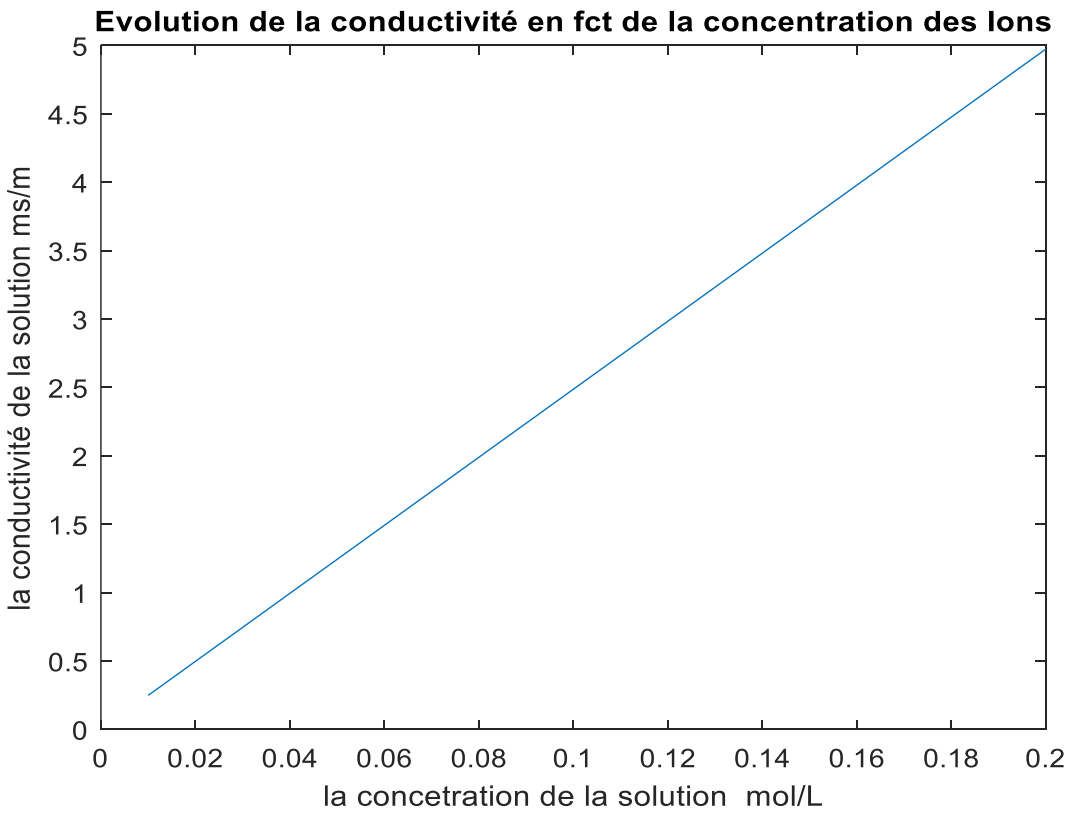


Figure 19 évolutions de la conductivité en fonction de la concentration

Cette relation indique que la conductivité d'une solution augmentera à la fois avec la concentration des ions présents dans les solutions et avec leur mobilité. Ainsi, une solution contenant une concentration élevée d'ions hautement mobiles aura une conductivité plus élevée que celle contenant une concentration plus faible d'ions ou des ions moins mobiles.

Alors la conductivité d'une solution est directement proportionnelle à la concentration des ions présents dans cette solution.

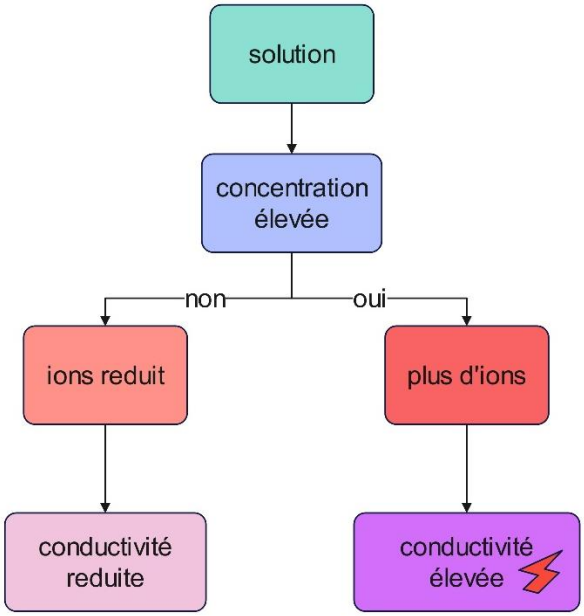


Figure 20 schéma descriptif de la relation entre la conductivité et la concertation

IV.4 Phase de tests du NEP :

Dans cette partie on va analyser et interpréter les résultats du nettoyage en place avec le nouveau capteur de conductivité installé dans le circuit du NEP, le programme NEP milieu de la semaine consiste à envoyer deux (02) soudes ensuite l'acide et à la fin un rinçage long, La traçabilité et l'archivage des données du capteur sont des aspects importants lorsqu'il s'agit de collecter, enregistrer et conserver les informations générées par un capteur ainsi que l'analyse de ces données. Voici quelques points clés à considérer :

- ❖ Traçabilité des données :

La traçabilité se réfère à la capacité de suivre l'origine et l'historique des données. Pour garantir la traçabilité des données du capteur, il est nécessaire d'enregistrer des informations telles que l'identifiant unique du capteur, la date et l'heure de la mesure, les conditions environnementales pertinentes, les paramètres de configuration du capteur, etc. Ces informations permettent de comprendre le contexte de la mesure et d'assurer la fiabilité des données.

❖ Archivage des données :

L'archivage consiste à stocker et à préserver les données du capteur sur une période de temps définie. Il est important de mettre en place un système d'archivage fiable pour éviter la perte ou la corruption des données. Les données archivées doivent être stockées dans un format durable et sécurisé.

Etape 1 : Envoie des eaux blanches

Cette étape consiste à envoyer de l'eau dans le circuit de production pour récupérer les restes du fromage fondu dans la boucle et dans les cuves, elle dure environ 30 min, la figure suivante montre la valeur de la conductivité du circuit lors de cette étape.



Figure 21 archivage du capteur lors de phase de récup des eaux blanches

L'envoie des eaux blanches à commencer à 00 :14 après la fin de production du fromage, On constate que la conductivité du fromage avant l'envoie d'eau pour récupérer les eaux blanches est zéro : car la conductivité du fromage est nulle.
Lors du recyclage des eaux blanches, la valeur de la conductivité dans le circuit est d'environ 6192 µs/cm pendant 30 minutes, car la conductivité augmente légèrement lors du mélange des eaux avec le fromage fondu.

Etape 2 : Envoie de la première soude

Après la préparation et le chauffage de la soude, la solution sera envoyée depuis la cuve BL2 vers tout le circuit ce qui correspond à 00h47, nous constatons qu'il y a une forte augmentation dans la conductivité lors du lancement de la soude environ 59 000µs/cm, ce qui est logique car la soude est concentrée et a beaucoup d'ions dans la solution et la figure 22 nous illustre cette augmentation dans la conductivité.

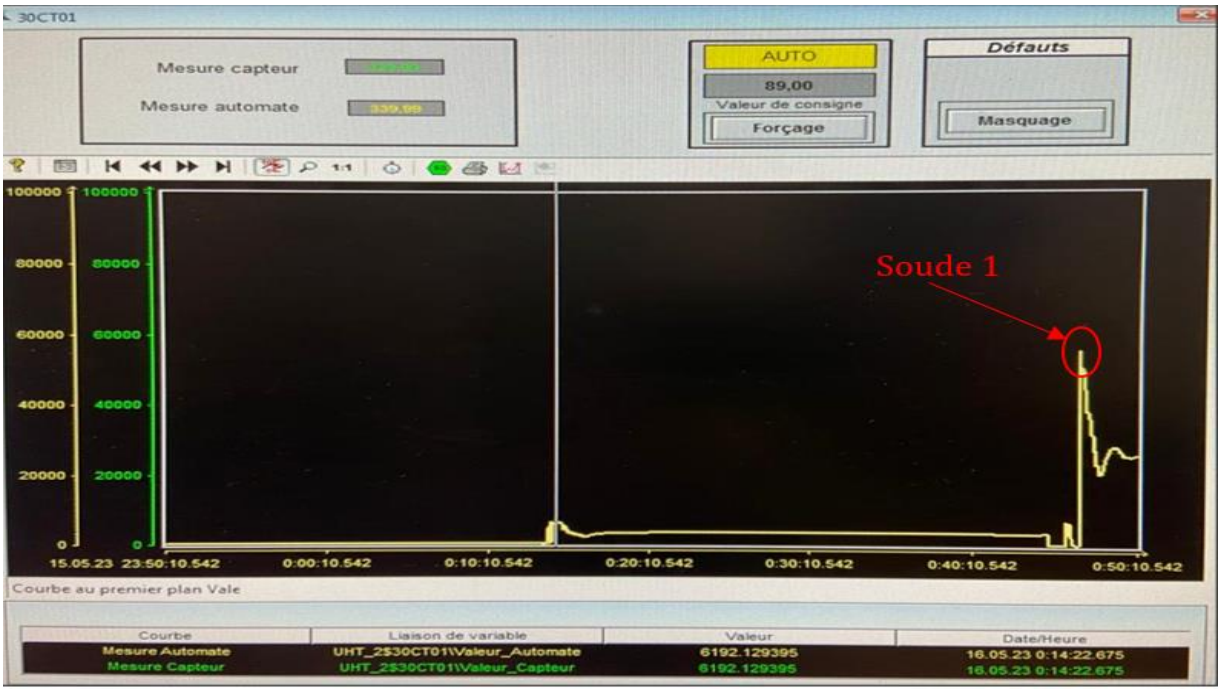


Figure 22 lancement de la première soude

Durant l'envoie de la soude et les étapes qui suivent (vidange cuve, drainage, rinçage…) qui dure environ 50min, on constate que la conductivité diminue progressivement jusqu'à ce qu'elle se tend vers zéro lors du rinçage-soude1 sachant que la conductivité d'eau est environ 300-400 µs/cm. la figure 23 nous illustre ces phases, pour entamer la troisième phase du NEP milieu de semaine qui est l'envoie de la deuxième soude il faut que le circuit soit bien rincé et la conductivité du circuit soit celle d'eau (300-400 µs/cm) .

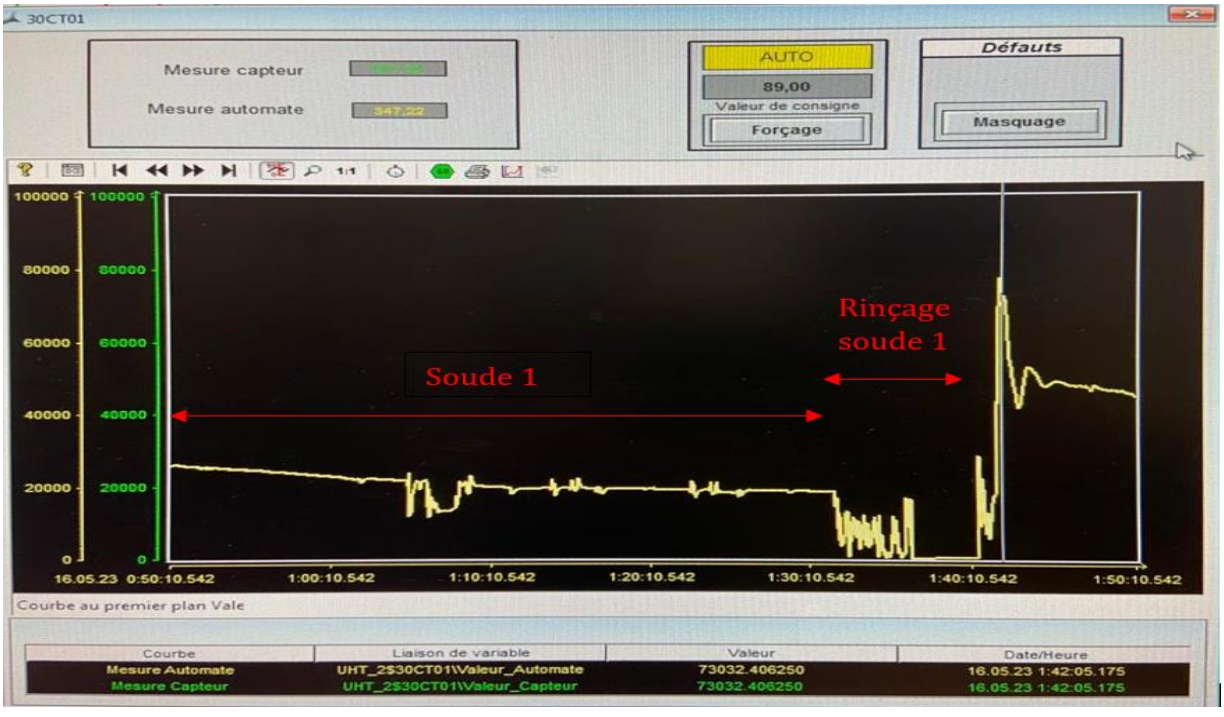


Figure 23 étape de nettoyage « soude 1 »

Etape 3 : Envoie de la deuxième soude

Après le rinçage de la première soude et avoir assurer que la valeur mesurée du conductivimètre est celle d'eau , on entame l'étape 03 qui est similaire à la deuxième étape, Après l'incorporation et la préparation ainsi que le chauffage de la deuxième soude à 80°C, la solution sera envoyée depuis la cuve BL2 vers tout le circuit à 01:40, on remarque qu'il y a une forte augmentation dans la conductivité lors du lancement de la soude environ 73 000µs/cm qui est plus que la première soude car la deuxième soude doit être plus concentré pour que le dégraissage du circuit soit vraiment efficace, la figure 24 nous illustre cette augmentation dans la conductivité.

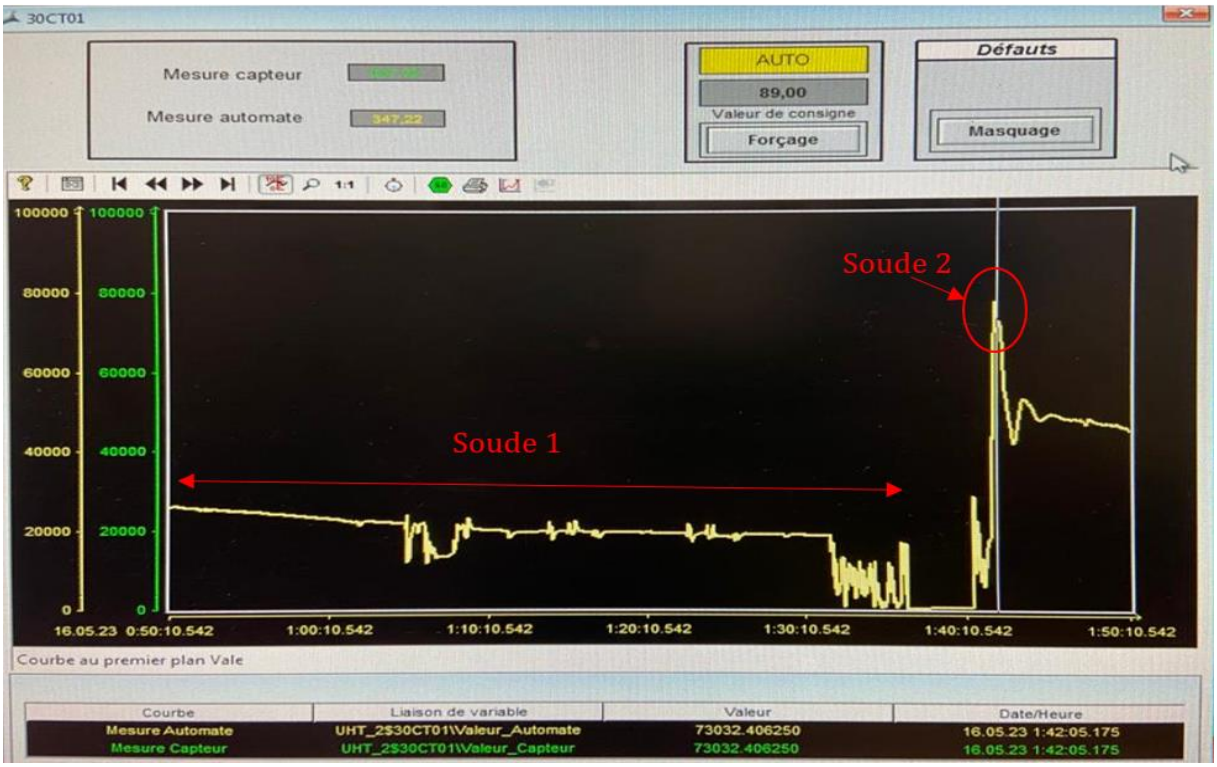


Figure 24 envoie de la deuxième soude

Pendant l'envoi de la deuxième soude et les étapes qui suivent (vidange de la cuve, drainage, rinçage à la soude, poussé solution etc.), qui durent une heure, on observe une diminution progressive de la conductivité jusqu'à ce qu'elle atteigne presque zéro lors du rinçage à la soude 2. Cette information est illustrée dans **la** figure 25 qui représente ces différentes phases.

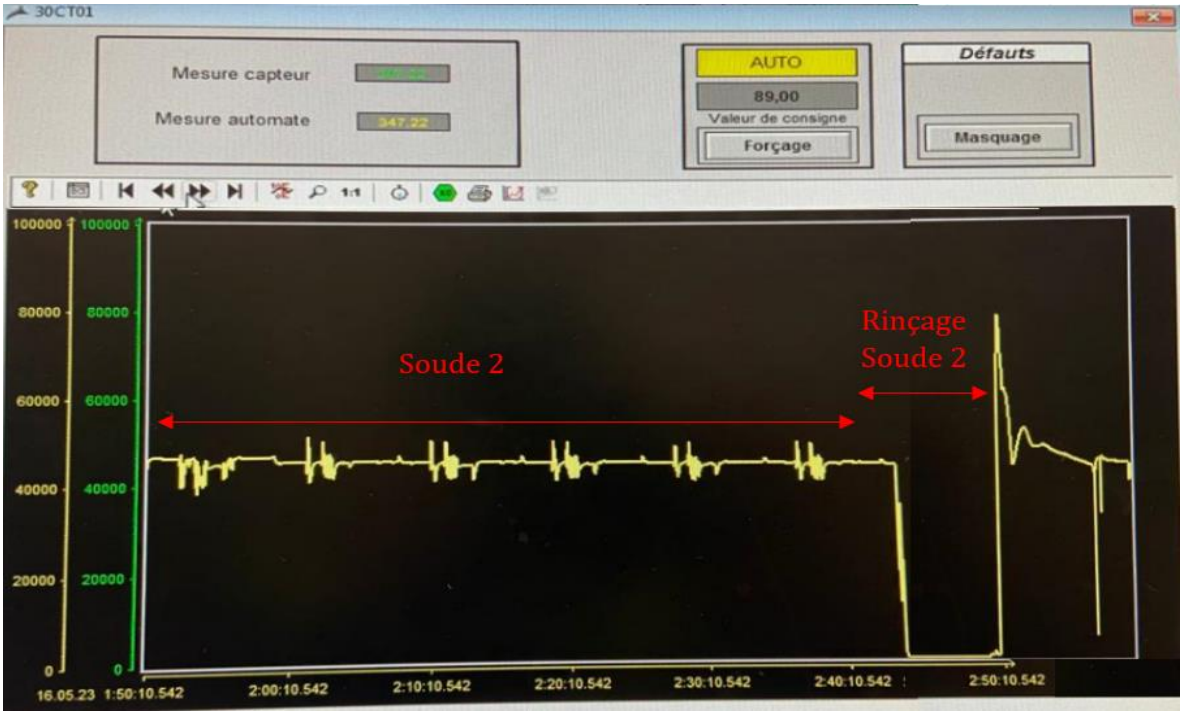


Figure 25 étape de nettoyage « soude 2 »

Etape 4 : Envoie de l'acide

Comme mentionné précédemment, l'acide est envoyé lors du NEP milieu de semaine après l'envoie des deux soudes qui ont pour rôle de dégraisser la boucle et la cuve, ensuite l'acide sera envoyé après son incorporation manuelle dans la cuve ainsi que son chauffage à 65°C, la figure 26 nous montre l'envoie de l'acide qui a commencé après le rinçage de la deuxième soude à 02 :50 et dure environ 30 min, on constate que l'acide a une conductivité élevée qui atteint 80 000µs/cm.

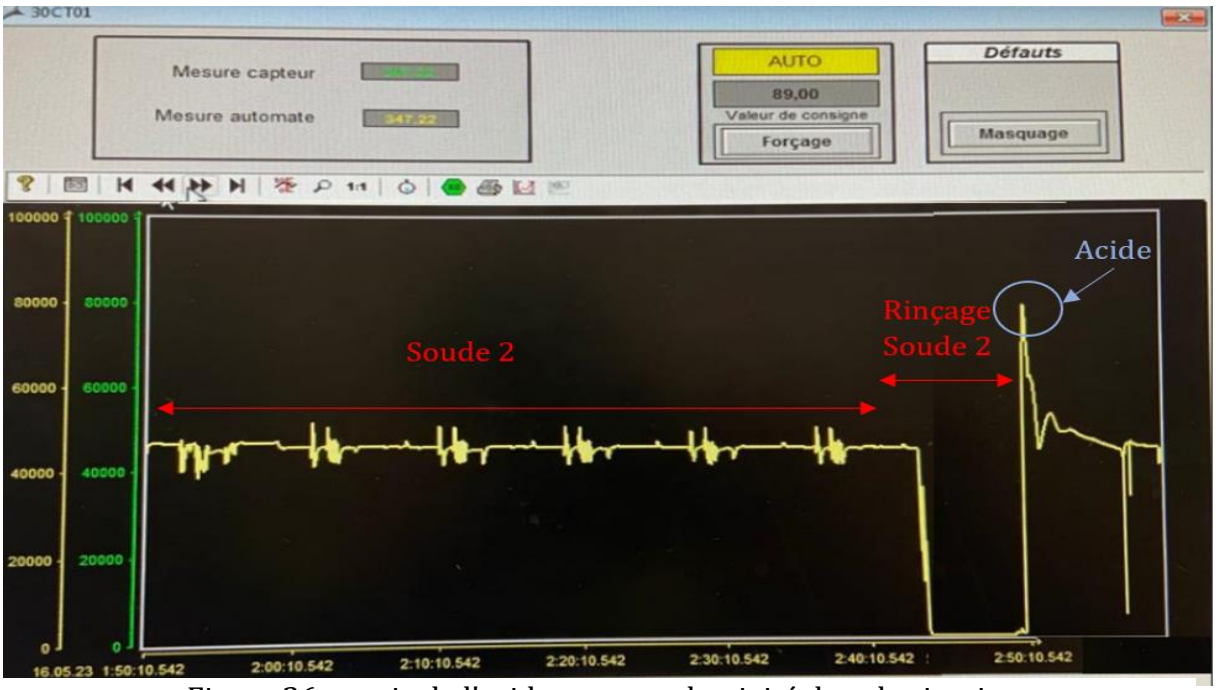


Figure 26 envoie de l'acide et sa conductivité dans le circuit

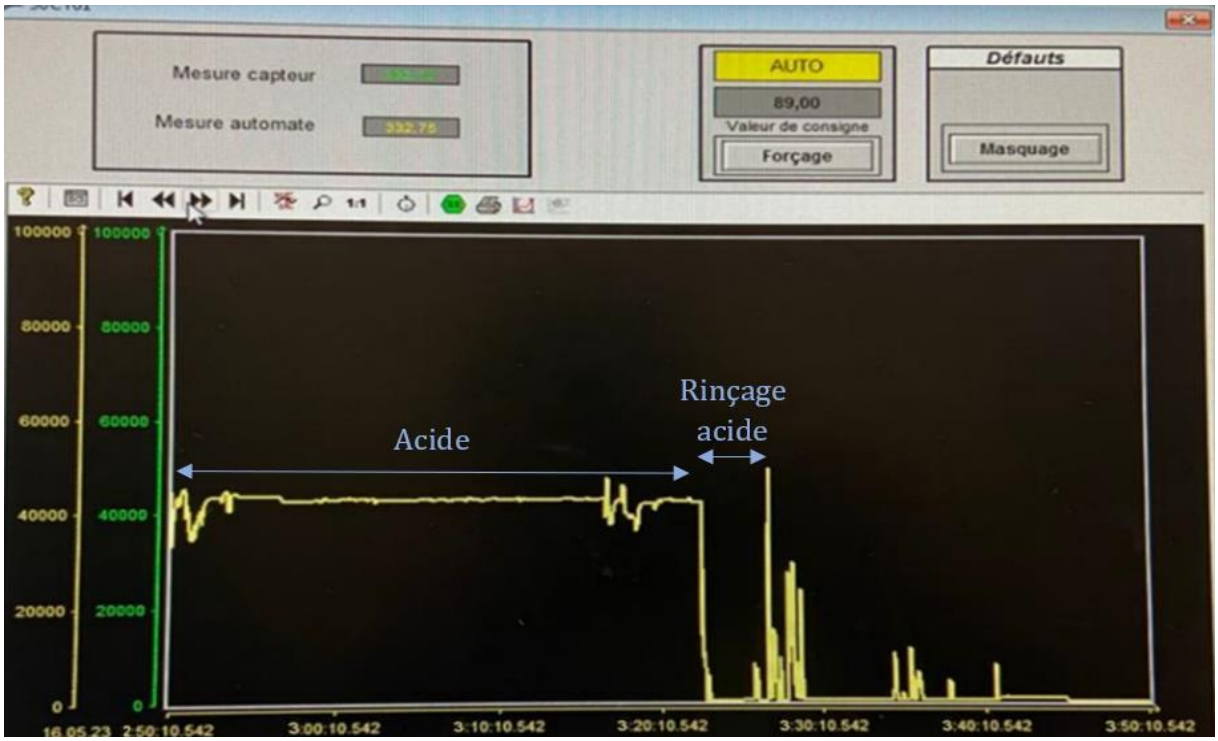


Figure 27 étapes de nettoyage "acide"

Etape 5 : Lancement du rinçage long du circuit

On arrive à la dernière étape du nettoyage en place, qui est le rinçage prolongé du circuit. Cette étape débute après le rinçage de l'acide, tel indiqué dans la figure 27, Le rinçage prolongé du circuit a débuté à 03:30. On constate une augmentation de la conductivité, car au début, il restait quelques gouttes d'acide. Après l'envoi de l'eau de rinçage, ces gouttes et les résidus du mélange d'acide et d'eau sont poussés vers la fin du circuit, ce qui entraîne une augmentation (des pics) dans la mesure du capteur de conductivité situé à la fin de la boucle.

En répétant le processus de rinçage pendant plusieurs cycles (un cycle durant 600 secondes) ainsi que ces étapes (vidange de la cuve, drainage, poussée de la solution...), nous constatons une diminution progressive de la conductivité qui tend vers zéro (environ 300-400 µs/cm). Cette valeur correspond à la conductivité de l'eau, comme le montre la figure 28 à 03 :50.

Le processus de rinçage se poursuit pendant quelques minutes après avoir atteint la conductivité de l'eau, afin de vérifier les mesures du capteur et d'éliminer tous les résidus d'acide et de soude précédents dans le circuit. Cela garantit une efficacité à 100% du nettoyage en place, comme l'illustre la figure 29.

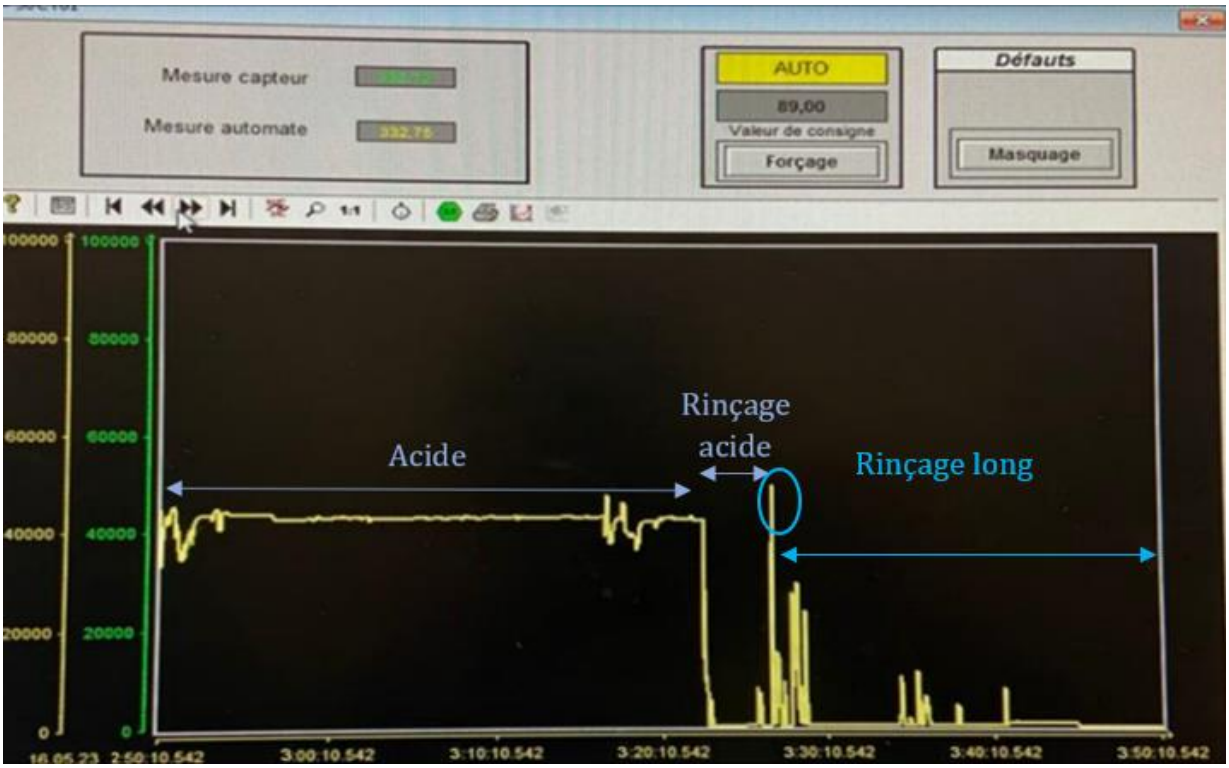


Figure 28 lancement du rinçage long

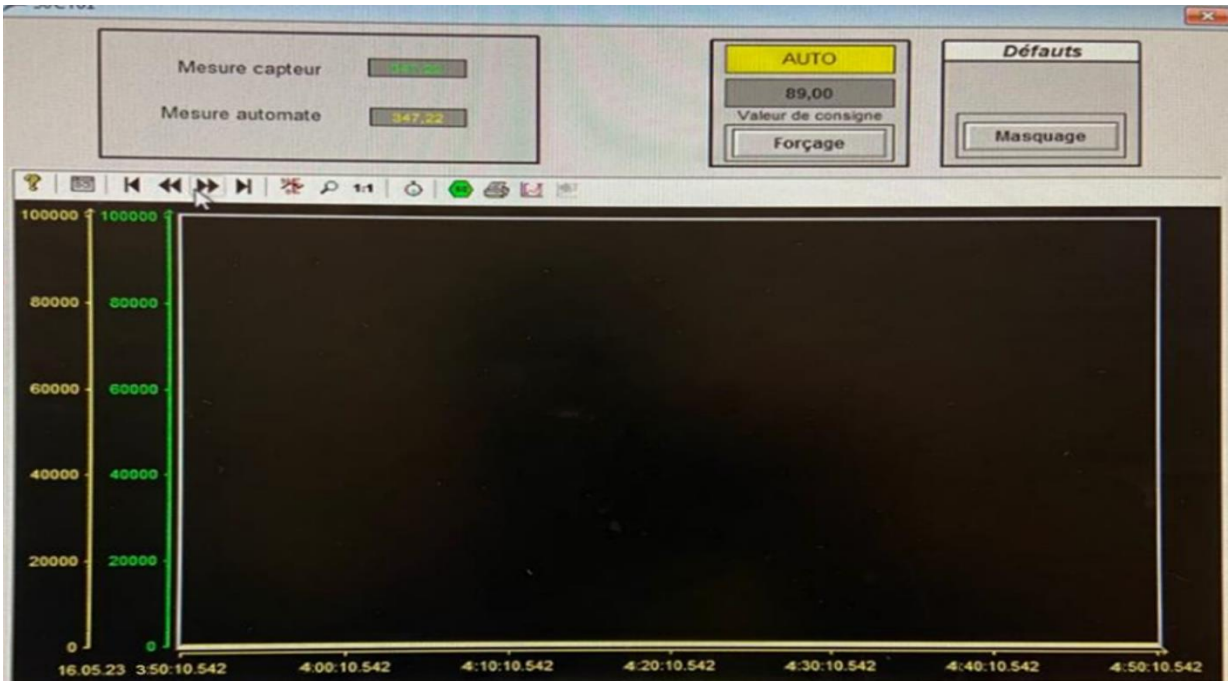


Figure 29 fin de l'étape rinçage long avec la conductivité de la boucle nulle

Selon les résultats obtenus dans la figure 29, le processus du NEP s'est terminé, ce qui nous a permis d'arrêter le processus de rinçage sans effectuer trop de cycles. De plus, grâce au capteur de conductivité, nous avons pu minimiser la consommation d'eau en vérifiant que la concentration d'acide et de soude était nulle, ce qui indique que le rinçage a été efficace.

Conclusion

L'objectif principal de ce travail est d'améliorer l'efficacité du processus de nettoyage en place (NEP) de la ligne UHT2. Nous avons commencé par définir et analyser le processus de nettoyage en place et on a identifié les problèmes et les limitations qui affectent l'efficacité du nettoyage en place.

Dans le cadre de notre étude, nous avons mis en place un capteur de conductivité afin de mesurer en temps réel la conductivité des solutions pendant le NEP du circuit de production. Par la suite, nous avons réalisé des tests lors du nettoyage en place des circuits en analysant les données collectées par le capteur. Les résultats obtenus ont démontré l'efficacité de cette mesure en temps réel, qui assure un nettoyage plus précis tout en réduisant la consommation d'eau de rinçage. Ces données et résultats confirment les avantages de notre approche, ouvrant ainsi la voie à une meilleure gestion du nettoyage dans les circuits industriels.

Pour une amélioration continue, il serait envisageable d'intégrer d'autres capteurs le long de la ligne de production, afin d'optimiser davantage le processus de NEP. Ces perspectives d'amélioration continue permettraient de renforcer l'efficacité du nettoyage en place et d'optimiser la gestion des eaux de rinçage.

Références et bibliographies :

[1] Guerin Pierre technologies, «Nettoyage en place "opticlean_f12",» 2018.

[2] M. S. T. Yassine MANKOUR, «Automatisation d'une Centrale de Nettoyage en Place au niveau de la SARL Tifra-Lait,» TIZI-OUZOU, memoire master 2017.

[3] Bel Algerie, «CIP UHT2_BEL consignes».

[4] K. Abdelmadjid, «schema P&ID UHT2_BL2».

[5] Endress+Hauser, «Manuel de mise en service smartec CLD18».

[6] E. Gaudin, «conductivite molaire et concentration,» [En ligne]. Available: https://ressources.unisciel.fr/DAEU/chimie/savoir-base/co/conductivite_molaire_concentration.html.

[7] R.Djebbar, «classic CIP station».

[8] Bel Algerie, «SURIGNES_SOLUTIONS_BL2_UHT2_01».

ملخص

تنظيف محطة التشغيل هو مفهوم حيث تتداول محاليل التنظيف والتعقيم في دائرة الإنتاج دون الحاجة إلى فك تركيبات المعدات المعالجة. الهدف من الناقلية النوعية هو مراقبة تركيز محاليل الغسيل. ينطوي العملية الحالية على قياس يدوي للتوصيلية (أخذ العينات) مما يسبب فقدانًا في الوقت وإمكانية حدوث أخطاء في القياس

تحسين هذه العملية يتضمن تركيب مستشعر الناقلية النوعية لضمان أخذ عينات في الوقت الفعلي لتركيز محاليل الغسيل والشطف

كلمات مفتاحية :مراقبة التركيز, تنظيف محطة التشغيل ,الناقلية النوعية

Résumé

Le nettoyage en place (NEP) est un concept où des solutions de nettoyage et de désinfection circulent dans le circuit de production sans qu'il soit nécessaire de démonter les installations à traiter. L'objectif de la mesure de la conductivité est de contrôler la concentration des solutions de lavage. Le processus actuel fait appel à une mesure manuelle de la conductivité (prises des échantillons) ce qui cause un temps perdu et d'éventuelles erreurs de mesure.

L'amélioration de ce processus consiste en l'installation de capteur de conductivité afin d'assurer un prélèvement en temps réel de la concentration de solutions de lavage et du rinçage.

Mots clés : contrôler la concentration, la conductivité, nettoyage en place.

Abstract

Clean-in-place (CIP) is a concept where cleaning and disinfection solutions circulate within the production circuit without the need to dismantle the equipment for treatment. The purpose of conductivity measurement is to monitor the concentration of cleaning solutions. The current process involves manual conductivity measurement (sampling), which leads to time loss and potential measurement errors.

Improvement of this process involves the installation of conductivity sensor to ensure real-time sampling of the concentration of washing and rinsing solutions.

Key words: monitor the concentration, conductivity sensor, Clean-in-place.