

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Électronique

Spécialité Instrumentation

présenté par

Djaafri Aissa

Commande d'un système industriel (SCMI) par l'automate programmable industriel

Dirigé par :

Mme Tidjani Naoual

Année Universitaire : 2023-2024

Remerciements

Avant tout je remercie Dieu le Tout-Puissant, qui m'a donné la volonté, le courage, la patience et qui a guidé mes pas vers le droit chemin durant mes années d'études.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire de master.

Tout d'abord, je souhaite remercier sincèrement ma directrice de recherche, Mme Tidjani, pour sa guidance précieuse, son soutien indéfectible et ses conseils avisés tout au long de ce projet. Son expertise et sa disponibilité ont été essentielles à la réussite de ce travail.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer mon projet.

Je tiens également à remercier l'ensemble des professeurs du département d'électronique pour les connaissances et les compétences qu'ils m'ont transmises au cours de ces années. Leur enseignement de qualité a été une source d'inspiration constante.

Un grand merci au personnel administratif du département d'électronique pour leur aide et leur efficacité dans la gestion des aspects pratiques et organisationnels de mon parcours académique.

Je n'oublie pas mes collègues et amis de promotion, avec qui j'ai partagé de nombreux moments d'entraide et de camaraderie. Leur soutien moral et intellectuel a été inestimable.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude à ma famille et à mes proches pour leur patience et leur encouragement tout au long de mes études. Leur présence à mes côtés m'a donné la force de persévérer.

Merci à tous.

Je tiens à dédier ce mémoire à :

Ma famille, pour leur soutien

indéfectible,

Monsieur Ben Tourki, professeur de

génie électrique,

Mes amis, pour leurs

encouragements.

À tous ce qui m'ont aidé.

Djaafri Aissa

ملخص:

قدمنا في مذكرتنا دراسة تهدف إلى التحكم في نظام صناعي بواسطة المبرمج الآلي الصناعي، طبقنا الدراسة حول مصنع اسمنت متيجة، تحدثنا بشيء من التفصيل عن المبرمج الآلي الصناعي، تعرفنا كذلك على مراحل صناعة الاسمنت.

طورنا برنامجا لإنجاز الغرض و قمنا بمحاكاته للتأكد من عمله بشكل صحيح.

كلمات المفاتيح: تحكم، المبرمج الآلي الصناعي، برنامج.

Résumé :

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons entrepris une étude approfondie visant à commander un système industriel à l'aide d'API. Cette étude a été appliquée à l'usine de ciment SCMI, où nous avons examiné en détail les API et les processus de fabrication du ciment. Pour atteindre notre objectif, nous avons développé un programme en langage ladder à l'aide du logiciel ZELIOSOFT, que nous avons ensuite simulé afin de garantir son bon fonctionnement.

Mots clés : API , SCMI , ladder , ZELIOSOFT.

Abstract :

We presented in our thesis a study aiming to control an industrial system using APIs. We applied the study to the SCMI cement factory, discussing in detail the APIs and also exploring the processes of cement manufacturing. We developed a program in ladder language on ZELIOSOFT software to achieve our goal and simulated it to ensure its proper functioning.

Keywords : API , SCMI , ladder , ZELIOSOFT.

Listes des acronymes et abréviations

API : Automate Programmable Industriel

CPU : Unité centrale de traitement

E/S : Entrée/Sortie

FBD : Langage de schéma de fonctionnement

GRAFCET : graphes fonctionnels de commande étape-transition

IL : Langage d'instructions

LCD : Affichage à cristaux liquides

PC : Ordinateur personnel

SFC : Langage à liste d'instructions

ST : Langage structuré à contact

Table des matières

Liste des figures	VII
Liste des tableaux	X
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1 Chapitre 1 : Présentation de la société SCMI et processus de fabrication du ciment.....	2
1.1 Introduction	2
1.2 Présentation de la Société de Cimenterie Mitidja	2
1.2.1 Historique de la SCMI	2
1.2.2 Capacité de l'usine	3
1.2.3 Production du ciment	3
1.3 Les constituants du ciment	3
1.4 Les processus de fabrication	4
1.4.1 Zone de la carrière de calcaire	4
1.4.2 Zone crue	6
1.4.3 Zone cuisson	8
1.4.4 Zone ciment	11
1.4.5 Zone expédition	12
1.5 Les GRAFCET	14
1.5.1 Zone carrière calcaire	14
1.5.2 Zone crue	16
1.5.3 Zone cuisson	18
1.5.4 Zone ciment	20
1.5.5 Zone expédition	22
1.6 Conclusion	24
2 Chapitre 2 : Les automates programmable industriels	25
2.1 Introduction	25
2.2 Définition	25
2.3 Les avantages et les inconvénients des API	25
2.3.1 Les avantages	25
2.3.2 Les inconvénients	26
2.4 Les types des API	26
2.5 L'architecture des API	26
2.6 Les critères de choix d'un API	27
2.7 Programmation d'un API	28
2.7.1 Langages de programmation	28

2.8	Conclusion	31
3	Chapitre 3 : Programmation et simulation par ZELIOSOFT2	32
3.1	Introduction	32
3.2	Le module ZELIO	32
3.3	Programmation sur logiciel zeliosoft2	33
3.4	Schéma du Programme en Langage ladder	40
3.4.1	Programmation des Eléments	44
3.5	La simulation	45
3.6	Conclusion	48
	CONCLUSION GENERALE.....	49
	Bibliographie.....	50

Liste des figures :

Figure I.1 : LA SOCIETE DE CIMENTERIE DE MITIDJA (SCMI)	3
Figure I.2 : Les processus de fabrication.....	4
Figure I.3 : Zone carrière calcaire	5
Figure I.4 : Les carrières de calcaire et d'argile de la Cimenterie.....	5
Figure I.5 : Extraction des matières premières de leurs carrières	5
Figure I.6 : Atelier de concassage	6
Figure I.7 : Zone crue	6
Figure I.8 : Pré homogénéisation et stockage des matières premières	7
Figure I.9 : Les ajouts.....	7
Figure I.10 : Atelier d'homogénéisation	8
Figure I.11 : Atelier de cuisson	8
Figure I.12 : Zone cuisson.....	9
Figure I.13 : Four rotatif.....	9
Figure I.14 : Le clinker.....	10
Figure I.15 : Transport et stockage de clinker.....	10
Figure I.16 : Zone ciment.....	11
Figure I.17 : Atelier broyage	11
Figure I.18 : Atelier d'expédition.....	12
Figure I.19 : Expédition en sac.....	12
Figure I.20 : Expédition en vrac	13
Figure I.21 : GRAFCET de la zone carrière calcaire	14
Figure I.22 : GRAFCET de la zone crue.....	16
Figure I.23 : GRAFCET de la zone cuisson.....	18

Figure I.24 : GRAFCET de la zone ciment.....	20
Figure I.25 : GRAFCET de la zone expédition.....	22
Figure I.26 : GRAFCET de coordination des tâches	24
Figure II.1 : Architecture matérielle d'un API.....	27
Figure II.2 : Symboles de programmation en ladder.....	29
Figure II.3 : Exemples sur GRAFCET	30
Figure III.1 : Exemple d'un module ZELIO	32
Figure III.2 : Les étapes d'automatisation du système.....	33
Figure III.3 : Création d'un nouveau fichier de programmation	34
Figure III.4 : Choix de la catégorie d'API	34
Figure III.5 : Choix du type de module	35
Figure III.6 : Ajouter des autres modules.....	35
Figure III.7 : Choix du type de programmation	36
Figure III.8 : Page d'édition	36
Figure III.9 : Outils de programmation	37
Figure III.10 : Exemple d'un programme en langage ladder	37
Figure III.11 : Mode édition.....	38
Figure III.12 : Mode simulation	38
Figure III.13 : Page de simulation.....	38
Figure III.14 : Transfert de programme sur le module.....	39
Figure III.15 : Sélectionne des modes	39
Figure III.16 : Schéma du Programme en Langage ladder	43
Figure III.17 : Programmation d'un temporisateur	44
Figure III.18 : Programmation d'un texte à l'écran	44

Figure III.19 : Démarrage de la simulation	45
Figure III.20 : Exécution de la simulation.....	45
Figure III.21 : Démarrage de convoyeur T1	46
Figure III.22 : Démarrage de concasseur	46
Figure III.23 : Démarrage de convoyeur T2	47
Figure III.24 : Maximum du silo	47
Figure III.25 : Fin de la zone 1	48

Liste des tableaux :

Table I.1 : Les entrées / sorties de la tache 1.....	15
Table I.2 : Set/reset/action des étapes	15
Table I.3 : Les entrées / sorties de la tache 2.....	17
Table I.4 : Set/reset/action des étapes	17
Table I.5 : Les entrées / sorties de la tache 3.....	19
Table I.6 : Set/reset/action des étapes	19
Table I.7 : Les entrées / sorties de la tache 4.....	21
Table I.8 : Set/reset/action des étapes	21
Table I.9 : Les entrées / sorties de la tache 5.....	23
Table I.10 : Set/reset/action des étapes	23

INTRODUCTION GENERALE

Ce n'est un secret pour personne que les automates programmables industriels ont apporté des solutions à de nombreux problèmes auxquels étaient auparavant confrontés les ingénieurs dans le domaine de l'industrie.

L'automatisation d'une cimenterie à l'aide du module Zelio des API a suivi un processus méthodique et rigoureux. Nous avons d'abord élaboré les GRAFCET, qui sont des diagrammes fonctionnels permettant de décrire et planifier les séquences d'actions nécessaires pour automatiser les différentes étapes de la production de ciment. Ces GRAFCET ont ensuite été traduits en langage Ladder, un langage de programmation graphique intuitif, particulièrement adapté aux automates programmables industriels. Pour vérifier la validité et l'efficacité de nos programmes, nous avons utilisé le logiciel Zelio Soft, qui offre des fonctionnalités de simulation avancées. Cette simulation nous a permis de tester et de valider notre programme dans un environnement virtuel avant de le déployer sur le terrain. Grâce à ce processus, nous avons pu optimiser l'automatisation de la cimenterie, assurant ainsi une production plus efficace et sécurisée.

Dans notre mémoire, l'étude se concentrera sur les usines de fabrication du ciment (la SCMI comme un exemple).

- ❖ Dans le premier chapitre on a parlé en détail des processus de fabrication du ciment, on a également créé des GRAFCET et des tableaux pour chaque zone.
- ❖ Le deuxième chapitre parlait de tout ce qui concerne les automates programmables industriels
- ❖ Dans le troisième chapitre on a traduit les GRAFCET en langage ladder et on a fait la simulation pour assurer le fonctionnement de programme correctement.

Notre travail est terminé par une conclusion générale.

1 Chapitre 1 : Présentation de la société SCMI et processus de fabrication du ciment

1.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous découvrirons la société SCMI, les étapes de la fabrication du ciment et nous réaliserons les GRAFCET.

1.2 Présentation de la Société de Cimenterie Mitidja :

La Société de Cimenterie de Mitidja (SCMI) est une entreprise algérienne filiale du groupe GICA, spécialisée dans la fabrication du ciment, en partenariat avec LAFARGE depuis juin 2008. Elle a été réalisée dans le cadre du plan quadriennal de « 1970-1973 ». Elle fait partie des premières cimenteries installées en Algérie. Elle est implantée dans la commune de MEFTAH dans la wilaya de Blida.

Le réseau national de la SCMI lui permet de fournir ses produits sur tout le territoire national. Son procédé de fabrication spécifique procure à son ciment une excellente qualité respectant les normes internationales de fiabilité et de respect de l'environnement

La culture de SCMI repose sur les valeurs fondamentales de respect, de confiance, de responsabilité et d'autonomie. La SCMI a consigné cette approche éthique dans un code d'action écrit, le SCMI Way, qui inspire l'action de tous les collaborateurs, partout dans le monde. [1]

1.2.1 Historique de la SCMI :

Avant l'indépendance, la France a créé une société de ciment en Algérie nommée Nord-Africaine des Matériaux de Construction (SNMC). Cette dernière a décidé de construire une nouvelle cimenterie à MEFTAH, le projet s'est inscrit dans le cadre du plan quadriennal 1970-1973, ce projet a coûté 680 000 000 DA.

Le choix de la commune de MEFTAH comme emplacement de l'usine est basé sur l'existence de la matière première dans la montagne près de l'usine.

La mise en service de la SCMI est passée par plusieurs étapes :

- Démarrage de l'atelier cru : le 31 janvier 1975.
- Allumage du four : le 06 mai 1975.

- Début de production du ciment : le 01 septembre 1975. [1]

1.2.2 Capacité de l'usine :

La capacité de production de la SCMI est :

3000 tonnes de ciment par jour.

01 million de tonnes de ciment par an. [1]

1.2.3 Production du ciment :

En état normal l'usine peut produit 1 million de tonnes de ciment par an mais il y a des perturbations dans la production à cause des problèmes techniques et les arrêts. [1]



Figure I.1 : LA SOCIETE DE CIMENTERIE DE MITIDJA (SCMI).

1.3 Les constituants du ciment :

Le ciment est fabriqué généralement à partir d'un mélange de :

- Calcaire (CaCO_3).
- Fer.
- Tuf.
- Sable.
- Argile ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$).
- Gypse.

Ces différentes matières (calcaire, argile, sable, fer) sont broyées à l'aide d'un concasseur et transportées jusqu'à la cimenterie par un tapis roulant. Toutes les matières premières sont introduites ensemble dans un broyeur à boulet pour être broyées et séchées.

Le mélange résultant s'appelle "le cru" et il est ensuite envoyé dans un four rotatif où il est chauffé à une température d'environ 1450 °C pour donner le clinker. Les granulés de clinker

sont introduits dans le broyeur à boulet avec des ajouts (gypse, tuf) où ils sont broyés finement pour donner le produit final qui est le ciment. [1]

1.4 Les processus de fabrication :

Le processus de fabrication est composé de cinq zones

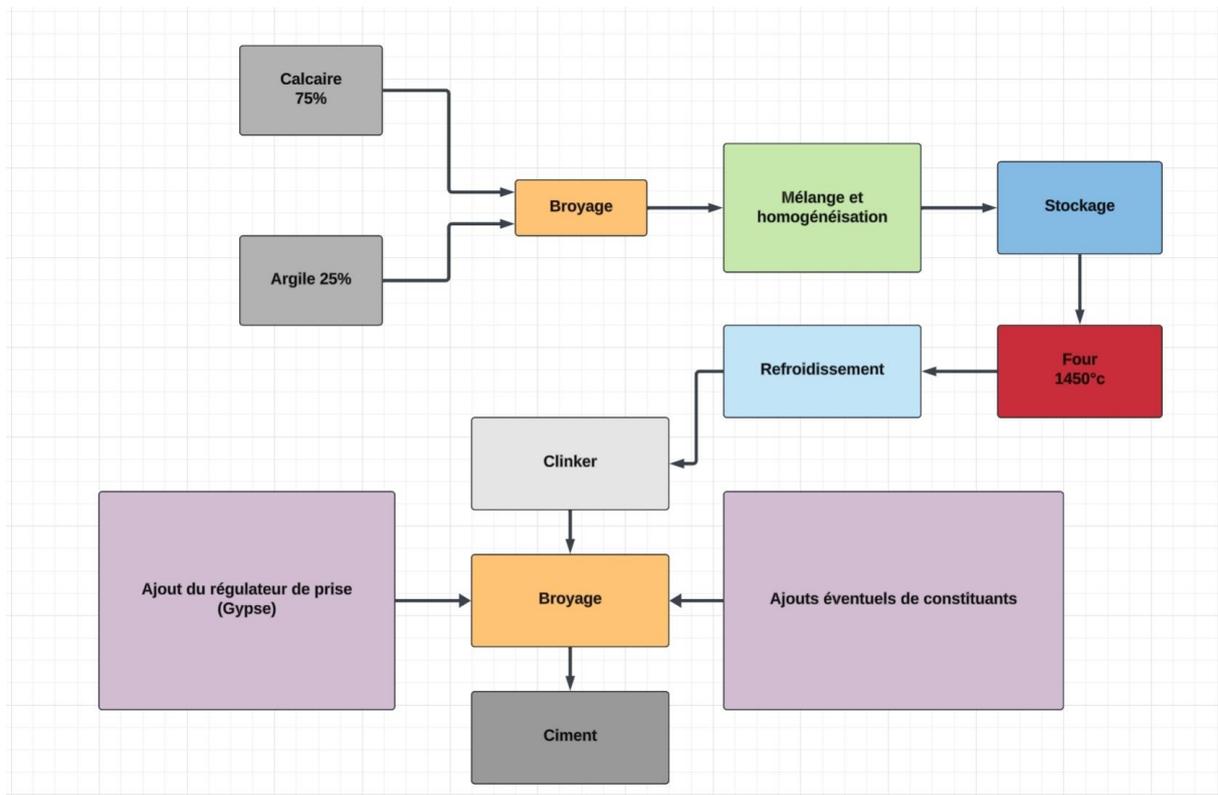


Figure I.2 : Les processus de fabrication.

1.4.1 Zone de la carrière de calcaire :

Dans la zone carrière calcaire, le processus commence par l'extraction des matières premières (le calcaire et l'argile) des parois rocheuses à l'aide d'explosifs.

Ensuite, des engins de chargement transfèrent ces matières vers un camion-benne (dumper) pour les transporter vers les concasseurs. Une fois arrivées, les matières premières

sont déchargées dans les concasseurs pour les réduire en morceaux plus petits (<80mm), opération appelée concassage.

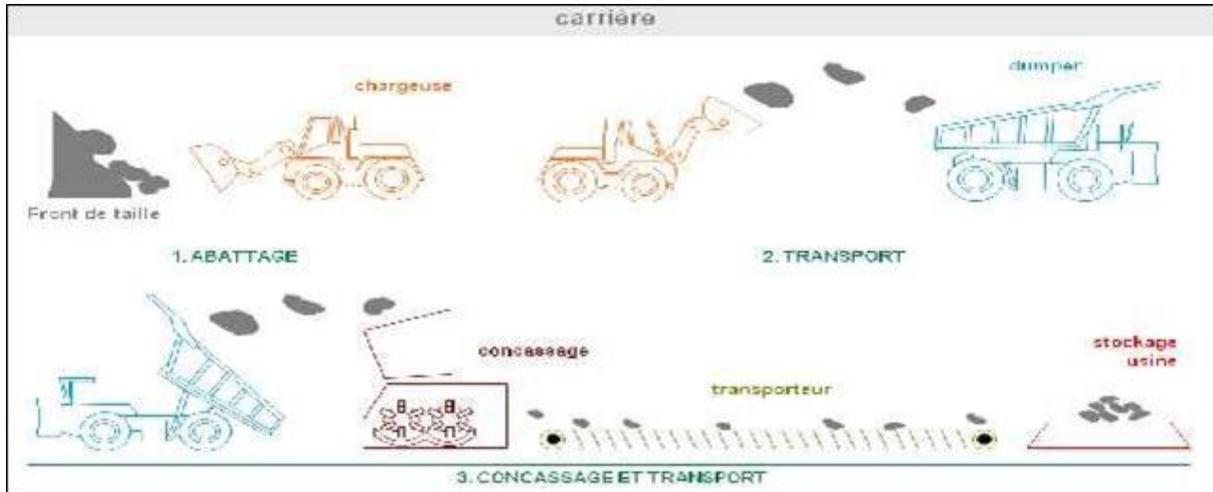


Figure I.3 : Zone carrière calcaire [2]



Figure I.4 : Les carrières de calcaire et d'argile de la Cimenterie.



Figure I.5 : Extraction des matières premières de leurs carrières.



Figure I.6 : Atelier de concassage.

1.4.2 Zone crue :

La zone crue de fabrication de ciment est l'endroit où les matières premières sont broyées et mélangées avant d'être chauffées dans le four.

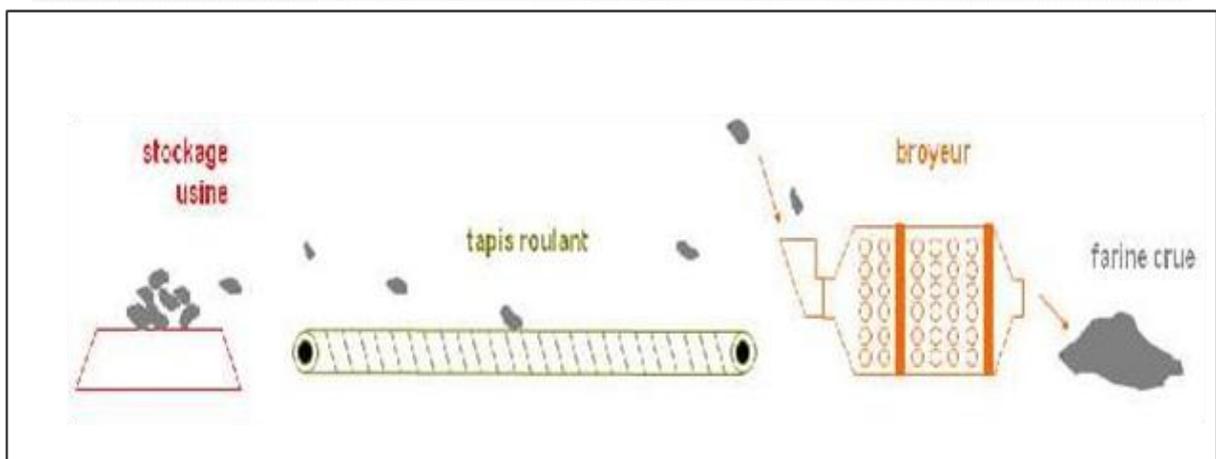


Figure I.7 : Zone crue [2]

Les roches extraites de la carrière, concassées et acheminées jusqu'à la cimenterie, sont ensuite stockées dans le hall de pré-homogénéisation. Dans ce hall, la méthode de remplissage circulaire par couches de roches superposées et leur récupération transversale au moyen d'un grattoir a été spécialement conçue pour garantir une plus grande régularité de la composition chimique du mélange minéral malgré la diversité des veines géologiques de la carrière.



Figure I.8 : Pré homogénéisation et stockage des matières premières.

Le mélange de roches minérales préparé dans le hall de pré-homogénéisation est ensuite séché et broyé afin de réduire les roches en une poudre très fine de taille micrométrique, c'est-à-dire au maximum quelques dizaines de microns. L'étape de broyage est également l'occasion d'incorporer des ajouts tels que le fer, le sable et l'argile. La poudre fine ainsi obtenue est appelée la farine crue.



Figure I.9 : Les ajouts [3]

Après avoir été finement broyée, la farine crue est brassée de manière intensive dans des silos d'homogénéisation afin d'obtenir une composition chimique et physique aussi régulière que possible. La stabilité du four lors de la cuisson et la qualité du clinker obtenu dépendent directement de cette régularité.



Figure I.10 : Atelier d'homogénéisation.

1.4.3 Zone cuisson :

La zone de cuisson est où le mélange cru est chauffé à haute température dans un four pour produire le clinker.



Figure I.11 : Atelier de cuisson.

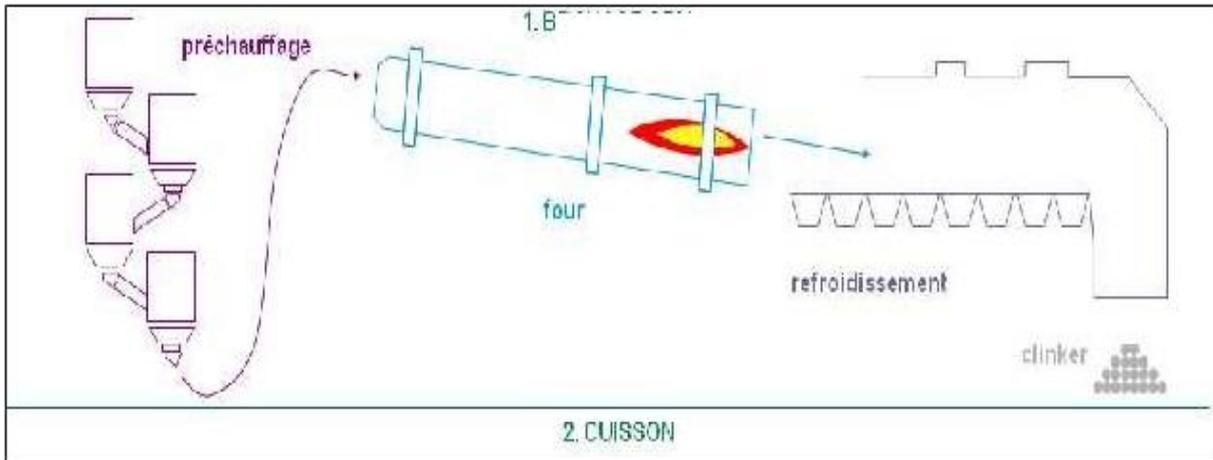


Figure I.12 : Zone cuisson[2]

- **Préchauffage :**

Les matières premières sont progressivement chauffées à environ 800 °C dans une tour de préchauffage équipée de cyclones verticaux. Cette température prépare le mélange pour la cuisson ultérieure dans le four rotatif, favorisant ainsi une réaction chimique plus homogène et complète. Le préchauffage réduit également la consommation de combustible fossile nécessaire pour atteindre la température de cuisson optimale du clinker. Par conséquent, il contribue à améliorer l'efficacité énergétique de la cimenterie et à réduire les émissions de CO₂.

- **Four rotatif :**

Le mélange de matières premières préchauffées est introduit dans un four rotatif chauffé à une température très élevée, généralement autour de 1450 °C.



Figure I.13 : Four rotatif.

À cette température élevée, les réactions chimiques se produisent rapidement. La décarbonation du calcaire ainsi que d'autres réactions se déclenchent, formant des composés intermédiaires qui réagissent pour constituer le clinker. Le clinker est une matière solide, durcie et partiellement fondue, généralement de forme sphérique ou nodulaire.



Figure I.14 : Le clinker.

- Refroidissement et stockage du clinker :

Après sa formation, le clinker est rapidement refroidi pour stabiliser sa structure cristalline, souvent à l'aide d'un refroidisseur à grille. Une fois refroidi, le clinker est stocké dans des silos en attendant d'être broyé pour produire du ciment. En résumé, la zone de cuisson est cruciale dans le processus de fabrication du ciment car c'est là que le clinker se forme à partir du mélange de matières premières chauffées à haute température dans le four rotatif.



Figure I.15 : Transport et stockage de clinker.

1.4.4 Zone ciment :

Dans cette zone, le clinker refroidi est finement broyé avec des ajouts tels que le gypse pour produire du ciment. Ce processus de broyage permet d'obtenir une poudre homogène appelée "cru de ciment". La finesse du ciment est contrôlée pour répondre aux normes de qualité requises. Ensuite, le ciment est conditionné dans des sacs ou des conteneurs pour le stockage et la distribution. Cette zone est essentielle dans le processus de fabrication du ciment car elle garantit la qualité et les propriétés du produit final.

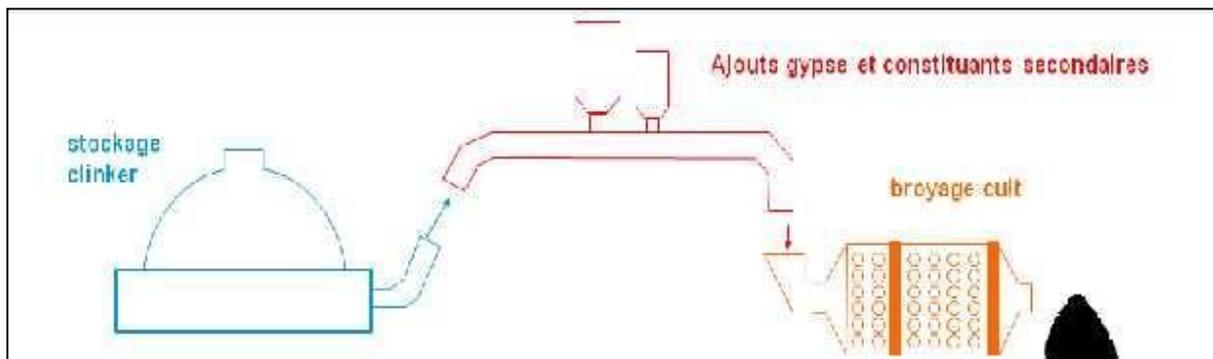


Figure I.16 : Zone ciment [2]

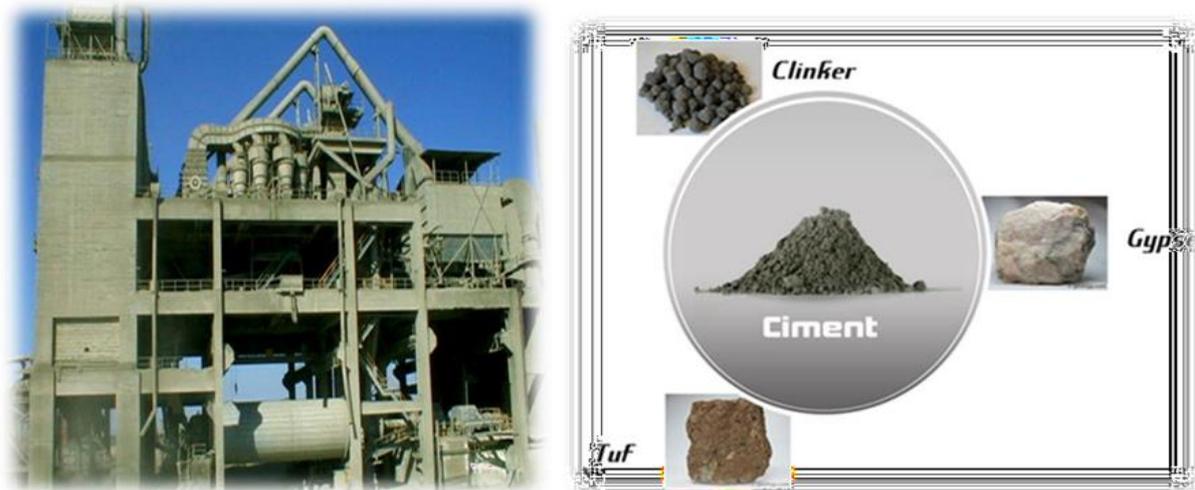


Figure I.17 : Atelier broyage [3]

1.4.5 Zone expédition :

C'est la dernière phase du processus de production du ciment, où le ciment est conditionné en sacs ou en vrac.



Figure I.18 : Atelier d'expédition.

- Expédition en sac :

Le ciment est transporté depuis les silos de stockage vers quatre ensacheuses via une bande transporteuse. À cet endroit, il est ensaché dans des sacs de 50 kg chacun. Ensuite, ces sacs sont chargés sur des camions-bennes pour être livrés.



Figure I.19 : Expédition en sac.

- **Expédition en vrac :**

Le chargement des camions s'effectue à l'aide d'un flexible connecté au fond d'une trémie. L'opérateur guide ce flexible pour verser le ciment dans les trappes des camions afin de les remplir.



Figure I.20 : Expédition en vrac.

1.5 Les GRAFCET :

1.5.1 Zone carrière calcaire :

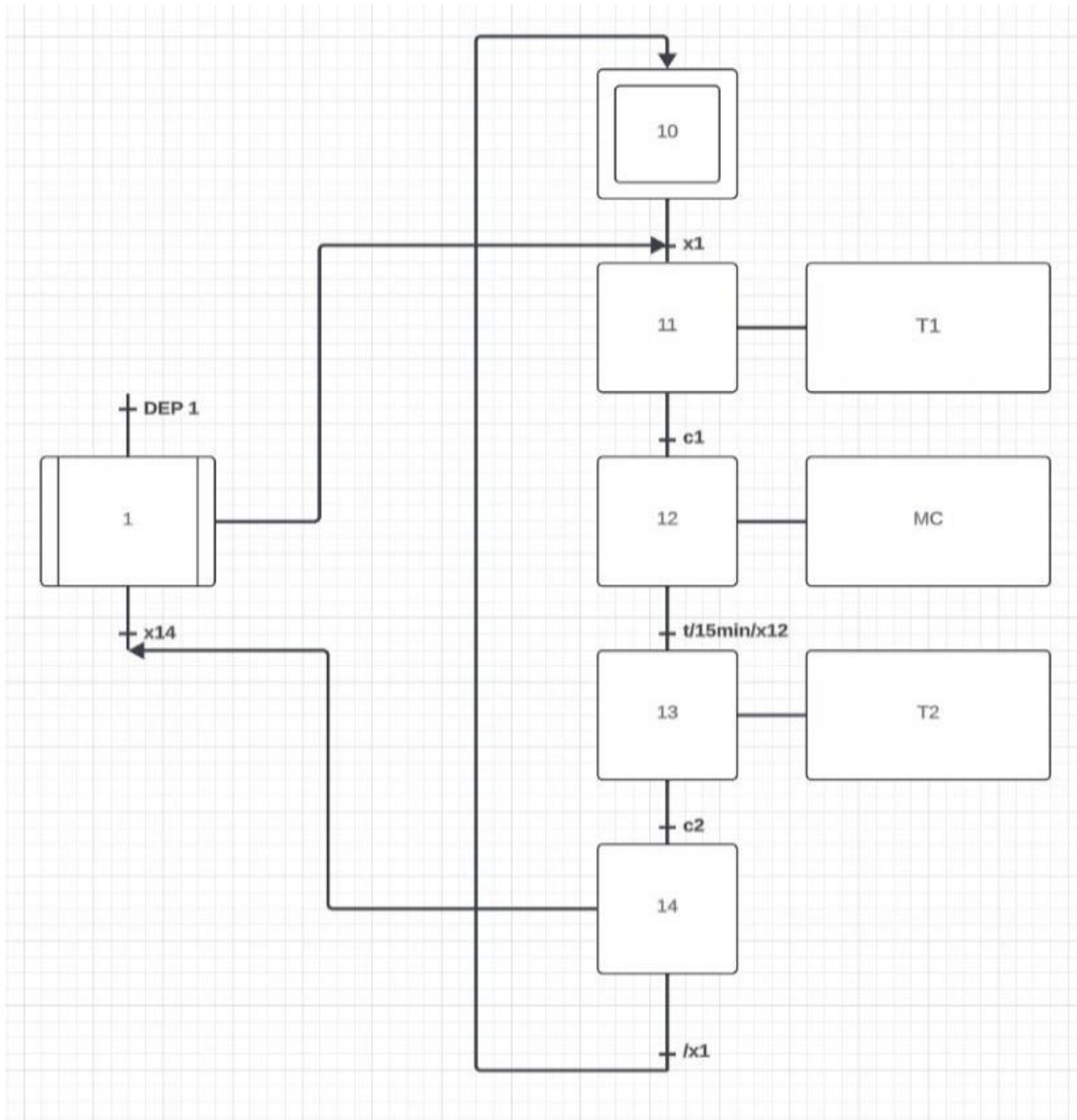


Figure I.21 : GRAFCET de la zone carrière calcaire.

Cahier de charge : Après activation du bouton X1, le processus démarre avec l'acheminement de grosses roches de calcaire via le convoyeur T1 vers le concasseur, qui les broie suffisamment pour les réduire à une taille inférieure à 8 cm. Ensuite, un autre convoyeur T2 transporte les gravillons de calcaire vers le silo de stockage.

Table I.1 : Les entrées / sorties de la tache 1

Entrées	Commentaire	Sorties	Commentaire
X1	L'appel de la tache 1	T1	Convoyeur 1
DEP 1	Bouton de démarrage	MC	Démarrage de concasseur (moteur concasseur)
C1	Présence des roches dans le concasseur	T2	Convoyeur 2
C2	Niveau de silo de stockage est max		

Table I.2 : Set/reset/action des étapes.

Xi	Set xi	Reset xi	action
10	X14./x1	X11	
11	X10.x1	X12	T1
12	X11.c1	X13	MC
13	X12.t	X14	T2
14	X13.c2	X10	

1.5.2 Zone crue :

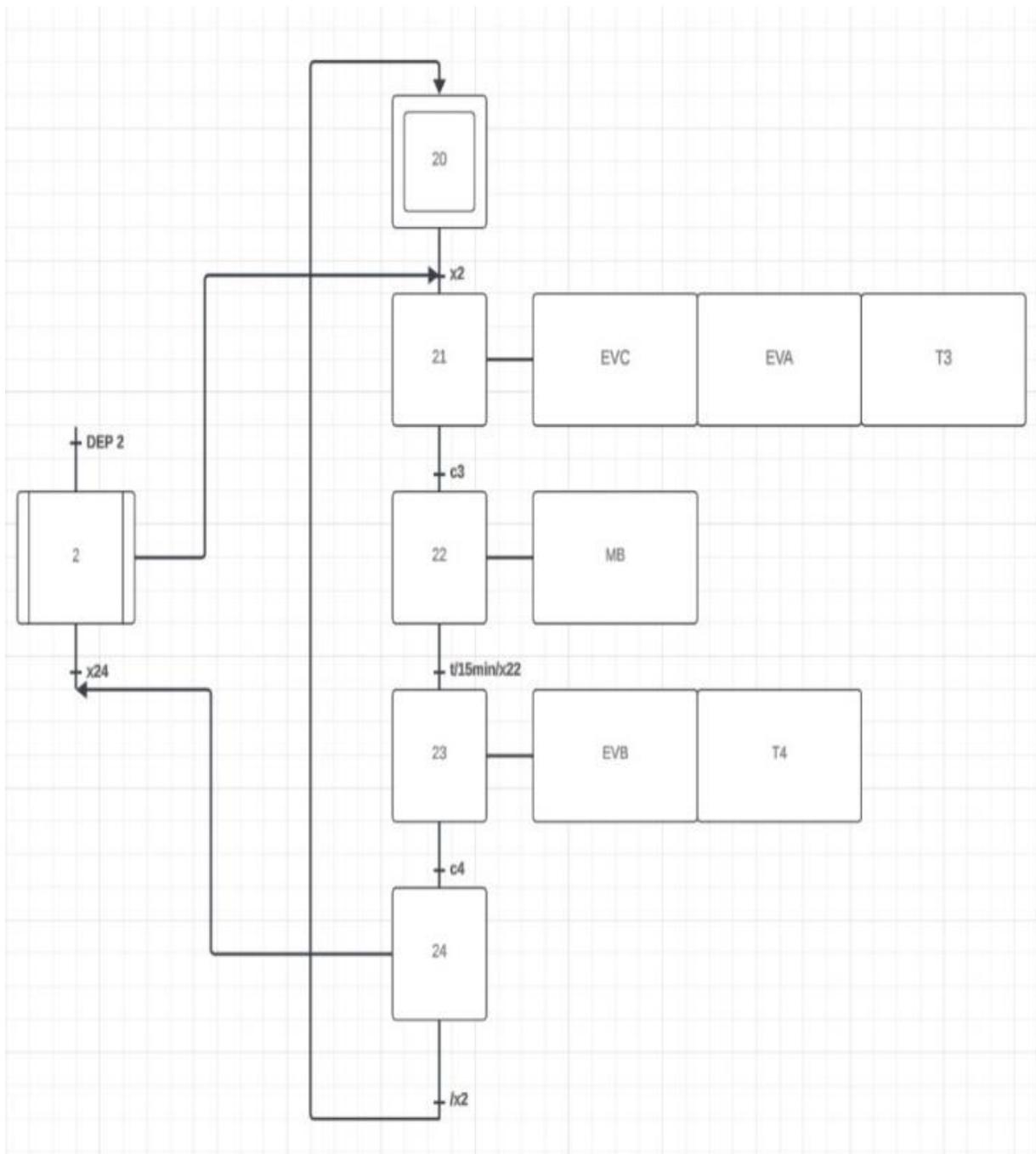


Figure I.22 : GRAFCET de la zone crue.

Cahier de charge : Après activation du bouton X2, le processus démarre. Une proportion de calcaire et une proportion des ajouts sont préparées, puis transportées via le convoyeur T3 vers le broyeur qui mélange le tout suffisamment pour obtenir une farine fine. Ensuite, le mélange est transféré au silo d'homogénéisation via le convoyeur T4.

Table I.3 : Les entrées / sorties de la tache 2.

Entrées	Commentaire	Sorties	Commentaire
X2	L'appel de la tache 2	EVC	Electrovanne de calcaire
DEP 2	Bouton de démarrage	EVA	Electrovanne des ajouts
C3	Niveau de broyeur est max	EVB	Electrovanne de broyeur
C4	Niveau de silo d'homogénéisation est max	MB	Démarrage de broyeur (moteur broyeur)
		T3	Convoyeur 3
		T4	Convoyeur 4

Table I.4 : Set/reset/action des étapes.

Xi	Set xi	Reset xi	action
20	X24./x2	X21	
21	X20.x2	X22	EVC / EVA / T3
22	X21.c3	X23	MB
23	X22.t	X24	EVB / T4
24	X23.c4	X20	

1.5.3 Zone cuisson :

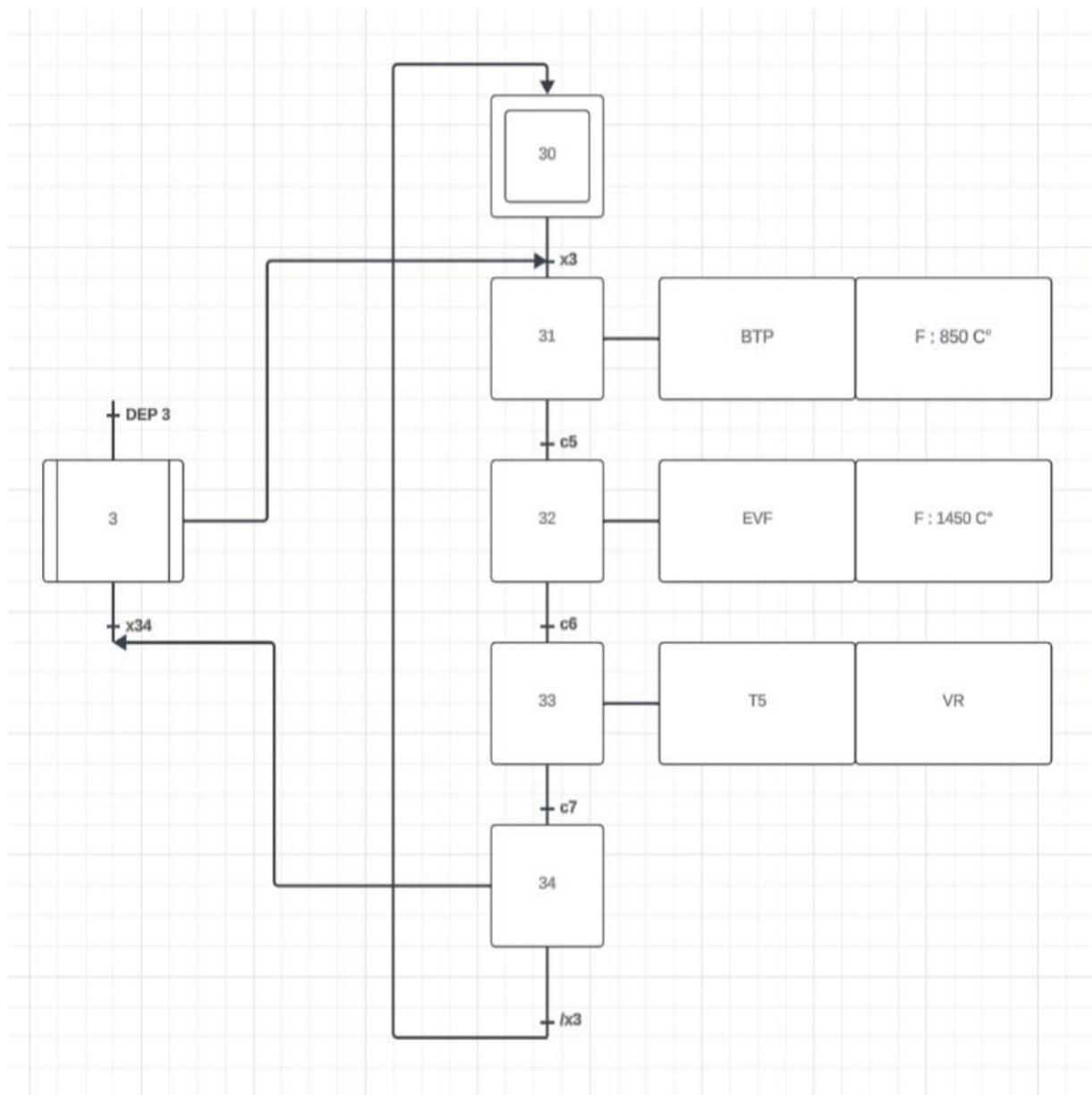


Figure I.23 : GRAFCET de la zone cuisson.

Cahier de charge : Après activation du bouton X3, le processus démarre. La farine crue est transportée via une bande transporteuse pneumatique, et le four est chauffé à une température de 850°C. La farine crue descend à contre-courant des gaz ascendants du four, dans ce qu'on appelle le préchauffage. Une fois que la farine crue atteint le niveau du four rotatif, sa température est augmentée jusqu'à 1450°C. Elle entre alors dans le four rotatif pour y cuire et se transformer en clinker. À la sortie du four, les ventilateurs de refroidissement se mettent immédiatement en marche et le clinker est transporté par le convoyeur T5 vers le silo de stockage du clinker.

Table I.5 : Les entrées / sorties de la tache 3.

Entrées	Commentaire	Sorties	Commentaire
X3	L'appel de la tache 3	BTP	Bande transporteuse pneumatique
DEP 3	Bouton de démarrage	EVF	Electrovanne de four rotatif
C5	Présence de la farine crue au niveau du four rotatif	VR	Ventilateurs de refroidissement
C6	Présence de clinker au niveau du refroidisseur	T5	Convoyeur 5
C7	Niveau de silo du clinker est max		

Table I.6 : Set/reset/action des étapes.

Xi	Set xi	Reset xi	action
30	X34./x3	X31	
31	X30.x3	X32	BTP / F:850°C
32	X31.c5	X33	EVF / F:1450°C
33	X32.c6	X34	T5 / VR
34	X33.c7	X30	

1.5.4 Zone ciment :

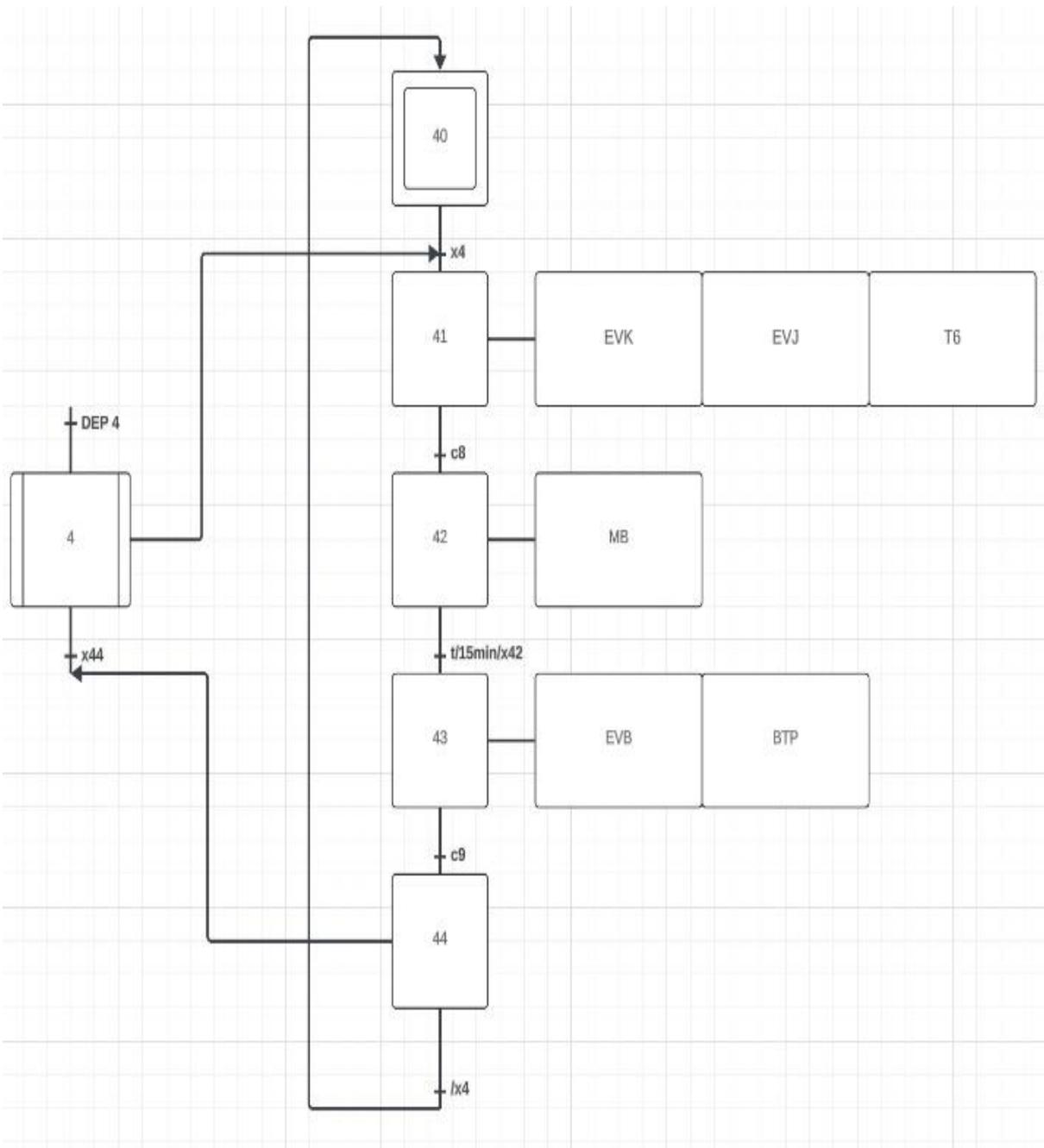


Figure I.24 : GRAFCET de la zone ciment.

Cahier de charge : Après activation du bouton X4, le processus démarre. Une proportion de clinker et une proportion de gypse sont préparées, puis transportées via le convoyeur T6 vers le broyeur où elles sont mélangées suffisamment pour obtenir le ciment. Ensuite, le ciment est transféré au silo de stockage via une bande transporteuse pneumatique.

Table I.7 : Les entrées / sorties de la tache 4.

Entrées	Commentaire	Sorties	Commentaire
X4	L'appel de la tache 4	EVK	Electrovanne de clinker
DEP 4	Bouton de démarrage	EVJ	Electrovanne de gypse
C8	Niveau de broyeur est max	T6	Convoyeur 6
C9	Niveau de silo du ciment est max	MB	Démarrage de broyeur (moteur broyeur)
		EVB	Electrovanne de broyeur
		BTP	Bande transporteuse pneumatique

Table I.8 : Set/reset/action des étapes.

Xi	Set xi	Reset xi	action
40	X44./x4	X41	
41	X40.x4	X42	EVK / EVJ / T6
42	X41.c8	X43	MB
43	X42.t	X44	EVB / BTP
44	X43.c9	X40	

1.5.5 Zone expédition :

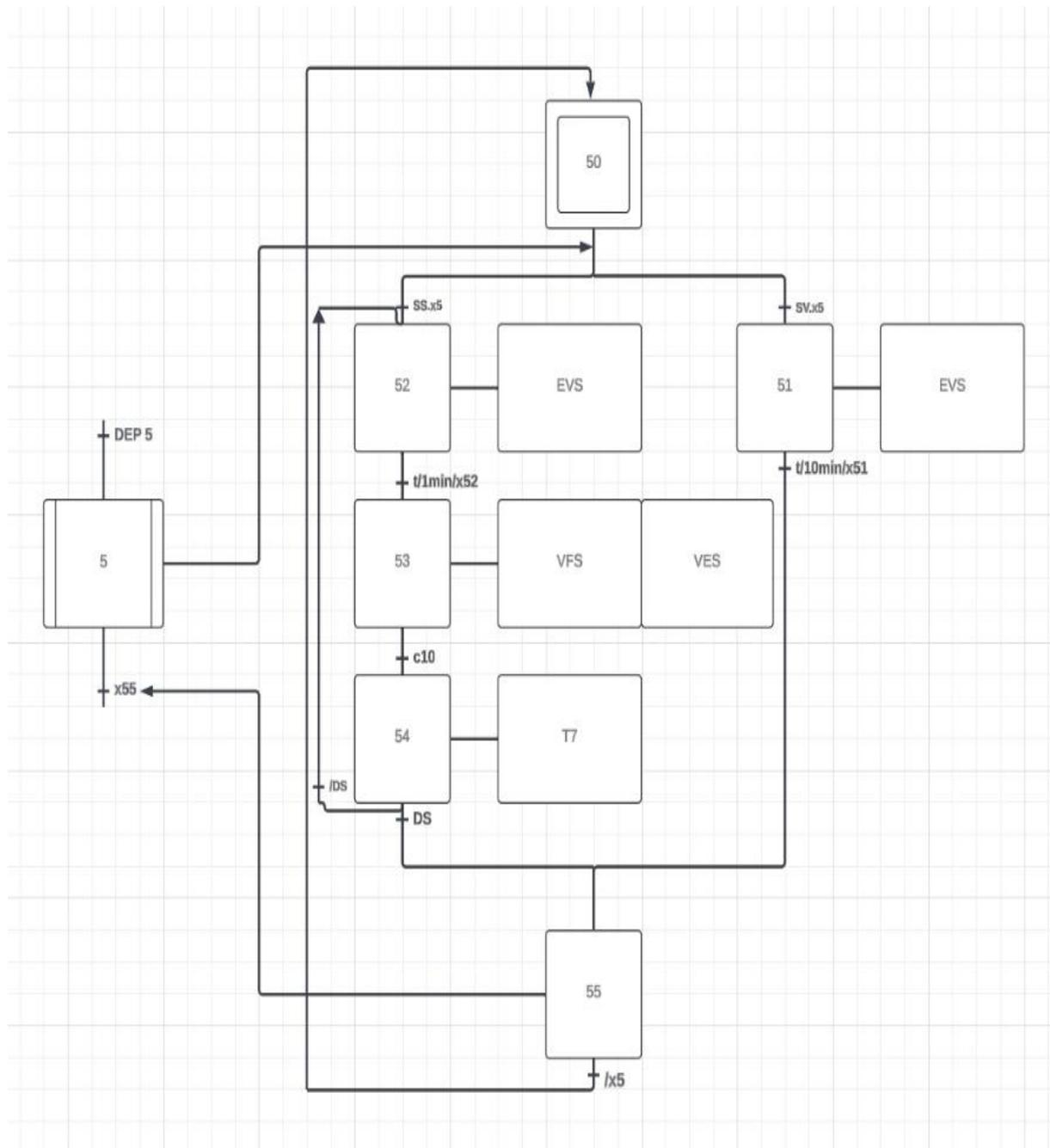


Figure I.25 : GRAFCET de la zone expédition.

Cahier de charge : Après activation du bouton X5, le processus démarre. Si SV est activé, la vanne du silo de ciment s'ouvre suffisamment longtemps pour remplir le réservoir du camion. Si SS est activé, la vanne du silo de ciment s'ouvre pour une durée suffisante afin de remplir un sac de 50 kg. Ensuite, le sac est fermé et évacué par deux vérins (VFS et VES) et un convoyeur T7. Ce processus se répète jusqu'à ce que le bouton DS soit enfoncé.

Table I.9 : Les entrées / sorties de la tache 5.

Entrées	Commentaire	Sorties	Commentaire
X5	L'appel de la tache 5	EVS	Electrovanne de ciment
DEP 5	Bouton de démarrage	VFS	Vérin de fermeture des sacs
SS	Sélection en sac	VES	Vérin d'évacuation des sacs
DS	désélection en sac	T7	Convoyeur 7
SV	Sélection en vrac		
C10	Présence des sacs au niveau de convoyeur d'évacuation		

Table I.10 : Set/reset/action des étapes.

Xi	Set xi	Reset xi	action
50	X55./x5	X51+X52	
51	X50.SV.x5	X55	EVS
52	X50.SS.x5+X54./DS.SAC EVACUE	X53	EVS
53	X52.t	X54	VFS / VES
54	X53.c10	X52+X55	T7
55	X54.DS.SAC EVA+X51.t	X50	

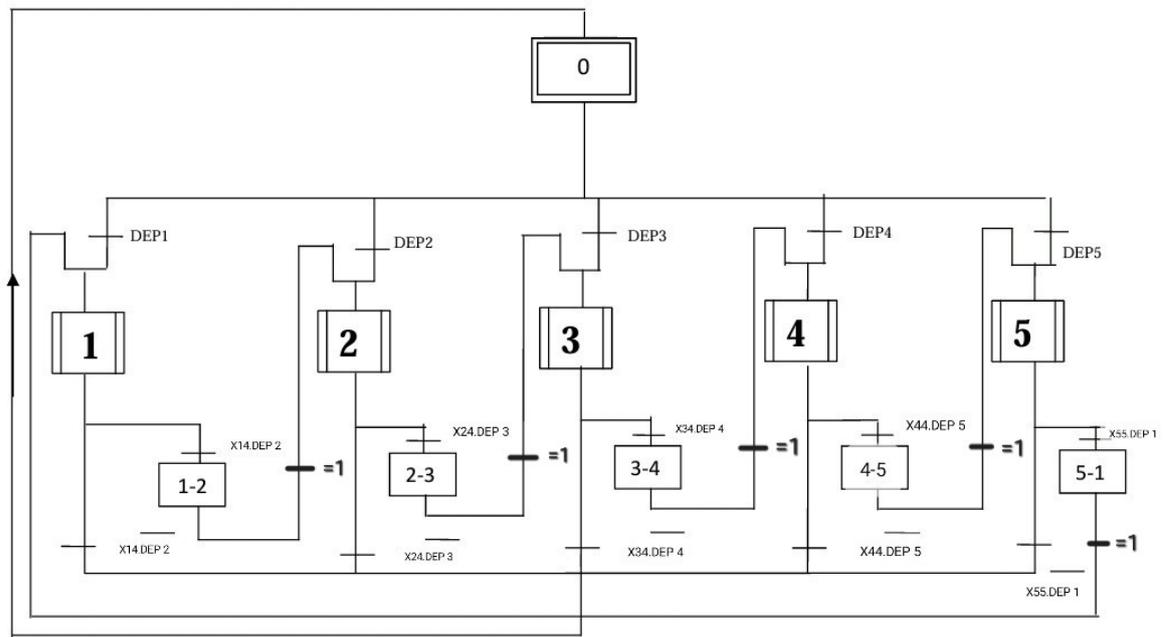


Figure I.26 : GRAFCET de coordination des taches.

1.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la société SCMI de manière générale, ainsi que les différentes étapes de fabrication du ciment, de l'extraction en carrière jusqu'à l'expédition. Nous avons également développé les GRAFCET pour chaque étape.

Dans le prochain chapitre, nous explorerons le logiciel Zeliosoft2 et comment il peut être utilisé pour créer des programmes en langage ladder, ainsi que pour effectuer des simulations.

2 Chapitre 2 : Les automates programmable industriels

2.1 Introduction :

Les automates programmables industriels (API) sont des dispositifs électroniques programmables utilisés pour automatiser les processus industriels. Ils jouent un rôle central dans la modernisation et l'efficacité des systèmes de production. Les API peuvent contrôler une grande variété d'équipements et des simples opérations aux processus complexes offrant ainsi une flexibilité essentielle dans divers secteurs industriels. Leur programmation se fait généralement à l'aide de langages spécifiques, tels que le langage ladder ou le GRAFCET. Avec leur capacité à s'adapter aux besoins changeants de la production, les API sont devenus des composants incontournables de l'industrie moderne.

2.2 Définition :

L'automate programmable industriel est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneurs à partir d'information logique, analogique ou numérique. Le même type d'automate programmable industriel peut être utilisé pour différentes applications, la différence s'effectue avec le programme installé dans celui-ci. Pour réaliser ces programmes, on utilise différents langages en fonction de l'automate, de l'utilisateur et du concepteur. [4]

2.3 Les avantages et les inconvénients des API :

2.3.1 Les avantages :

- Flexibilité : Ils peuvent être programmés pour s'adapter à une grande variété de processus industriels.
- Fiabilité : Ils sont conçus pour fonctionner dans des environnements industriels difficiles et offrent une fiabilité élevée.
- Productivité : Ils permettent d'automatiser des tâches répétitives, ce qui augmente l'efficacité et la productivité.
- Intégration : Ils peuvent être intégrés à d'autres équipements et systèmes de contrôle pour former des solutions complètes.

2.3.2 Les inconvénients :

- Coût initial : L'investissement initial dans un API peut être élevé en raison du matériel et du logiciel nécessaire.
- Maintenance : Bien que la maintenance soit généralement simple, les pannes peuvent parfois être complexes et nécessiter des compétences techniques.
- Limitations de performance : Pour certaines applications très exigeantes en termes de temps de réponse ou de puissance de calcul, les API peuvent présenter des limitations par rapport à d'autres solutions.
- Dépendance aux fournisseurs : Les API peuvent rendre les entreprises dépendantes des fournisseurs pour le support technique et les mises à jour logicielles.

2.4 Les types des API :

Les automates programmables industriels (API) se déclinent en plusieurs types, chacun adapté à des besoins spécifiques. Les API à relais conviennent aux applications simples nécessitant peu de complexité. Les API à base de microcontrôleurs offrent une flexibilité accrue et une capacité de traitement supérieure. Les PLC sont les plus courants et offrent une gamme étendue de fonctionnalités, y compris la communication avancée et les fonctionnalités de sécurité. Les API modulaires permettent une personnalisation en ajoutant ou en retirant des modules d'E/S. Enfin, les API programmables haute performance conviennent aux environnements critiques nécessitant une vitesse de traitement élevée et une fiabilité maximale.

2.5 L'architecture des API :

L'architecture d'un automate programmable industriel (API) se compose généralement des éléments suivants :

- Unité centrale de traitement (CPU) : La CPU est le cœur de l'API, responsable de l'exécution des programmes, de la gestion des entrées et des sorties (E/S) et du contrôle des périphériques.
- Mémoire : L'API dispose de différentes zones de mémoire pour stocker le programme utilisateur, les données en cours d'exécution, les paramètres de configuration et d'autres informations nécessaires au fonctionnement du système.
- Interfaces d'entrées/sorties (E/S) : Les E/S permettent à l'API de communiquer avec les capteurs, les actionneurs et autres dispositifs externes. Elles peuvent être numériques (pour les signaux binaires) ou analogiques (pour les signaux continus).

- Interfaces de communication : Ces interfaces permettent à l'API de communiquer avec d'autres équipements et systèmes, tels que des ordinateurs, d'autres API ou des systèmes de supervision.
- Alimentation électrique : L'API nécessite une source d'alimentation électrique pour fonctionner.
- Interface de programmation : Cette interface permet aux utilisateurs de créer, modifier et télécharger des programmes dans l'API. Elle peut prendre la forme d'un logiciel de programmation ou d'une interface utilisateur intégrée.

L'architecture spécifique peut varier en fonction du fabricant et du modèle de l'API, ainsi que des exigences particulières de l'application industrielle.

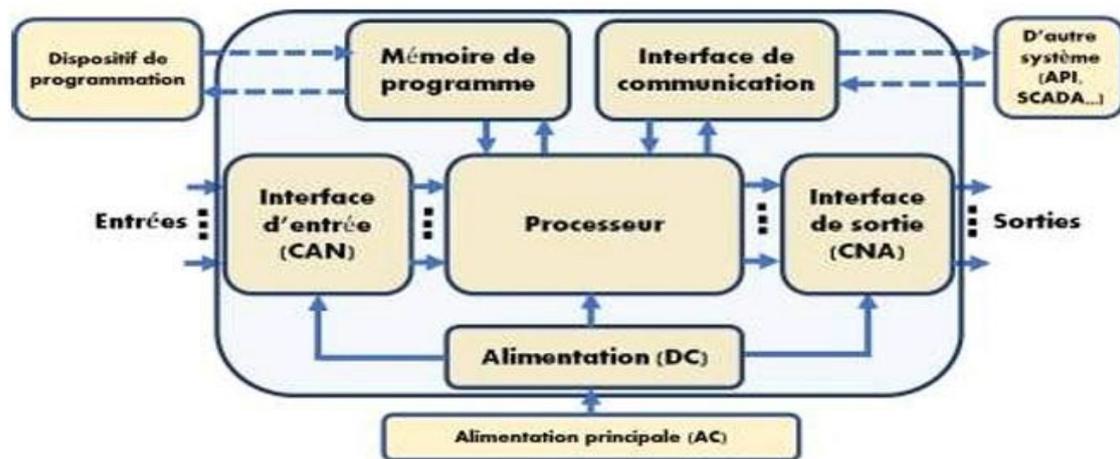


Figure II.1 : Architecture matérielle d'un API [5]

2.6 Les critères de choix d'un API :

Lors du choix d'un automate programmable industriel (API), plusieurs critères sont à considérer. Tout d'abord, évaluer la capacité de traitement de l'API en fonction des exigences de vitesse d'exécution des programmes. Ensuite, vérifier le nombre et le type d'entrées/sorties nécessaires pour interagir avec les dispositifs de l'installation industrielle. Les fonctionnalités de communication, telles que les ports Ethernet et les protocoles pris en charge, sont également importantes pour l'intégration avec d'autres équipements. La facilité de programmation et la disponibilité des outils de développement sont des facteurs clés pour garantir une mise en œuvre efficace. De plus, la fiabilité et la durabilité de l'API dans des environnements industriels difficiles sont essentielles pour assurer un fonctionnement sans faille. Il est également crucial de choisir un API flexible et évolutif, capable de s'adapter aux besoins futurs de l'entreprise. Enfin, évaluer le coût total de possession, y compris les coûts initiaux, de maintenance et de formation, est indispensable pour prendre une décision éclairée.

2.7 Programmation d'un API :

En ce qui concerne la programmation des automates programmables industriels (API), plusieurs points peuvent être soulignés :

- Méthodes de programmation : Les API peuvent être programmés de différentes manières, notamment en utilisant des langages de programmation spécifiques, des langages de schéma de fonctionnement, des diagrammes en échelle (ladder), des diagrammes de séquence ou des logiciels de programmation dédiés.
- Flexibilité : Les API offrent généralement une grande flexibilité en termes de programmation, ce qui permet aux utilisateurs d'adopter la méthode qui convient le mieux à leurs compétences et à leurs besoins spécifiques en matière d'automatisation.
- Logiciels de programmation : De nombreux fabricants fournissent des logiciels de programmation conviviaux qui simplifient la création, la modification et le débogage des programmes. Ces logiciels peuvent inclure des fonctionnalités telles que la simulation, la surveillance en temps réel et la documentation automatique.
- Langages de programmation : Certains API prennent en charge des langages de programmation standard tels que le langage de schéma de fonctionnement (FBD), le langage structuré à contact (ST), le langage d'instructions (IL) ou le langage à liste d'instructions (SFC), offrant ainsi une plus grande familiarité aux programmeurs expérimentés.
- Facilité de maintenance : La programmation des API est souvent conçue de manière à faciliter la maintenance, en permettant une analyse rapide des erreurs, une modification aisée des programmes et une documentation claire des logiques de contrôle.

2.7.1 Langages de programmation :

Étant donné que nous allons nous appuyer sur le langage ladder et les GRAFCET dans notre mémoire, nous allons donc fournir des explications détaillées à leur sujet.

- **"LADDER"** : (Ladder diagramme) est un langage de programmation graphique largement utilisé dans le domaine de l'automatisation industrielle. Il permet de représenter les opérations logiques et de contrôle à l'aide de symboles graphiques qui ressemblent à des échelles. Les contacts et les bobines sont utilisés pour représenter respectivement les entrées et les sorties du système. Les opérations logiques telles que les ET, les OU et les NON sont représentées par des

symboles spécifiques, facilitant ainsi la compréhension et la programmation des automates programmables industriels (API).

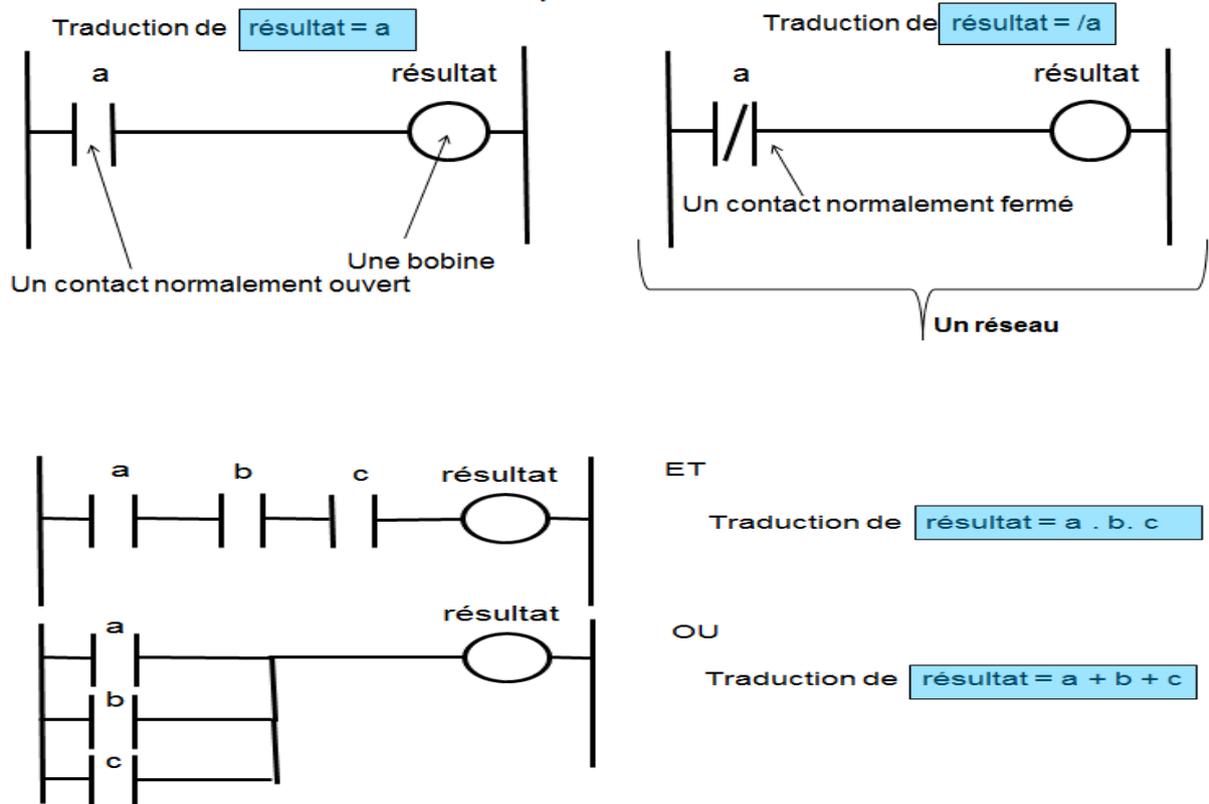
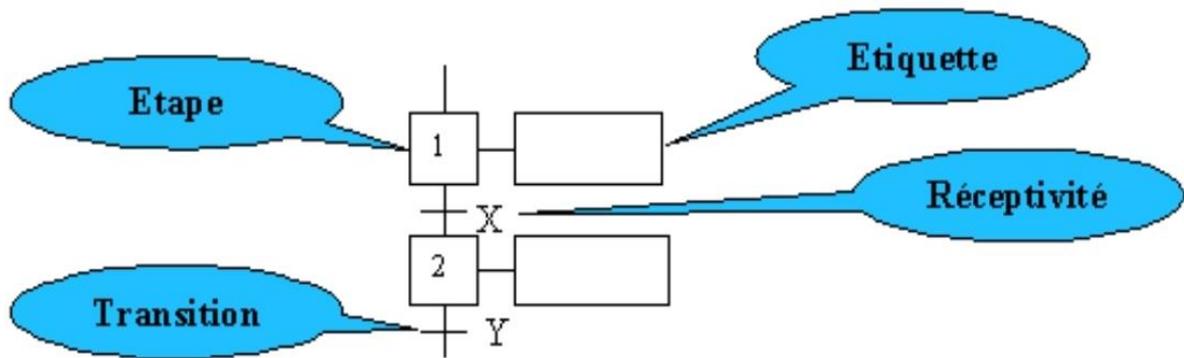
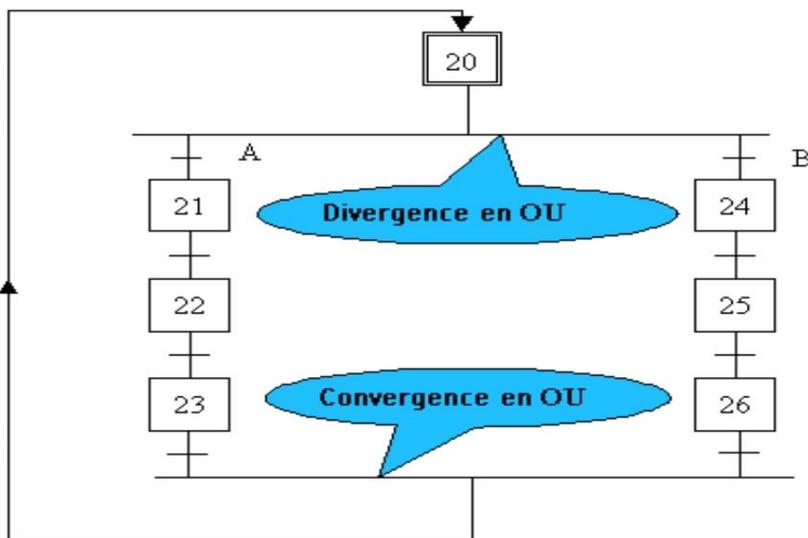


Figure II.2 : Symboles de programmation en ladder [6]

- **Les GRAFCET :** "graphes fonctionnels de commande étape-transition", sont une méthode de représentation graphique utilisée pour décrire le comportement séquentiel des systèmes automatisés. Ils se composent d'étapes (ou états) reliées par des transitions, et peuvent être utilisés pour modéliser des séquences d'opérations, des états de fonctionnement, des conditions de démarrage et d'arrêt, etc. Les GRAFCET sont utiles pour concevoir et analyser le fonctionnement des systèmes automatisés, et peuvent être traduits en programmes exécutables pour les automates programmables.



Divergence et convergence en OU (aiguillage)



Divergence et convergence en ET (séquences simultanées)

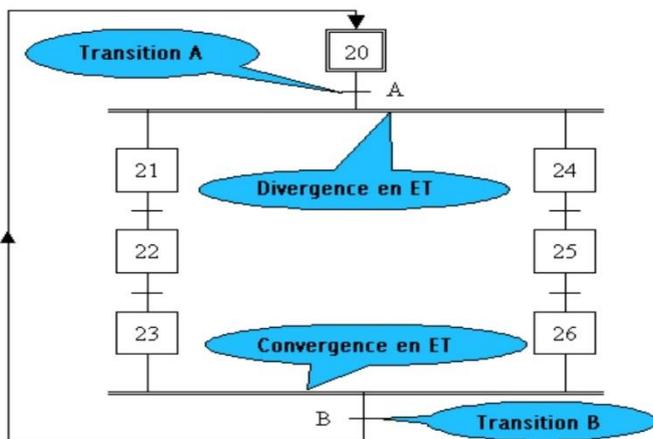


Figure II.3 : Exemples sur GRAFCET [7]

2.8 Conclusion :

Dans ce chapitre de notre mémoire, nous avons abordé tous les aspects des automates programmables industriels avec un niveau de détail modéré, qui permet d'acquérir des concepts de base sur ce sujet.

Dans le deuxième chapitre, nous aborderons de manière générale la société, parler des processus de fabrication en détail et créer également les GRAFCET.

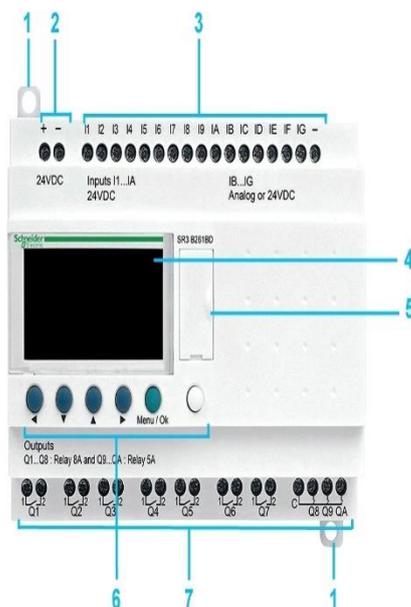
3 Chapitre 3 : Programmation et simulation par ZELIOSOFT2

3.1 Introduction :

Pour automatiser le système, nous allons créer un programme en langage ladder à partir des GRAFCET et le transférer au module Zelio, ce qui sera l'objet de ce chapitre.

3.2 Le module ZELIO :

Le module Zelio Soft ou Zelio Logic trouve son utilité partout où sa conception intelligente simplifie les processus. Que ce soit dans les petits automatismes industriels ou résidentiels, les électriciens apprécient sa facilité de mise en œuvre et de programmation grâce à l'utilisation de symboles électriques, du langage ladder ou du Zelio.



Les modules Zelio Logic modulaires comprennent en face avant :

- 1 Deux pattes de fixation rétractables.
- 2 Deux bornes d'alimentation.
- 3 Des bornes de raccordement des entrées.
- 4 Un afficheur LCD rétroéclairé de 4 lignes de 18 caractères.
- 5 Un emplacement pour cartouche mémoire ou raccordement au PC ou interface de communication Modem ou au terminaux de dialogue IHM (Harmony Small panel) ou interface Bluetooth.
- 6 Un clavier de 6 touches pour la programmation et le paramétrage.
- 7 Des bornes de raccordement des sorties.

Figure III.1 : Exemple d'un module ZELIO [8]

Zelio Logic regroupe dans un seul boîtier des fonctions directement utilisables telles que des temporisations, des compteurs, des horloges et des relais auxiliaires, combinables à volonté pour créer des automatismes simples. Son format modulaire lui permet de s'intégrer parfaitement dans des coffrets ou des tableaux de distribution électrique, et il se programme

facilement à partir de son interface opérateur intégrée ou via un logiciel PC d'une grande simplicité.

Le langage de programmation à contact permet d'établir simplement la relation entre le schéma électrique et l'automatisme à réaliser. Au-delà d'applications nécessitant deux ou trois temporisations, la solution Zelio Logic se distingue par son efficacité en termes de coût d'intégration et de mise en œuvre. Elle offre une solution économique, compacte, flexible et facile à installer, parfaitement adaptée aux besoins variés. Utilisé dans l'industrie pour des applications telles que le contrôle de fin de chaîne, les petites machines de conditionnement et d'emballage, ainsi que les machines automatiques, ou encore dans le domaine du bâtiment pour la gestion de l'éclairage, de la ventilation, le démarrage de moteurs en cascade, les compresseurs et les petits systèmes de manutention.

Cette solution facilite le réglage des paramètres grâce à des fonctionnalités telles que la saisie numérique des temporisations, la possibilité pour l'installateur de verrouiller certains réglages, et l'affichage des messages d'erreur sur l'interface du Zelio Logic en fonction de l'état de fonctionnement du système [9].



Figure III.2 : Les étapes d'automatisation du système.

3.3 Programmation sur logiciel zeliosoft2 :

Zeliosoft2 est un logiciel dédié à la programmation des relais programmables Zelio Logic de Schneider Electric. Il facilite la création, la simulation et la mise en service de programmes d'automatisation de manière simple et intuitive. Compatible avec des langages de programmation tels que le ladder et le langage à blocs de fonctions (FBD), il est adapté aussi bien aux environnements industriels que résidentiels. Grâce à son interface conviviale, les utilisateurs peuvent configurer facilement des temporisations, des compteurs et des relais auxiliaires pour divers systèmes automatisés.

Pour écrire un programme sur Zeliosoft2, suivez les étapes suivantes :

Etape 1 : Ouvrir le logiciel et créer un nouveau programme.

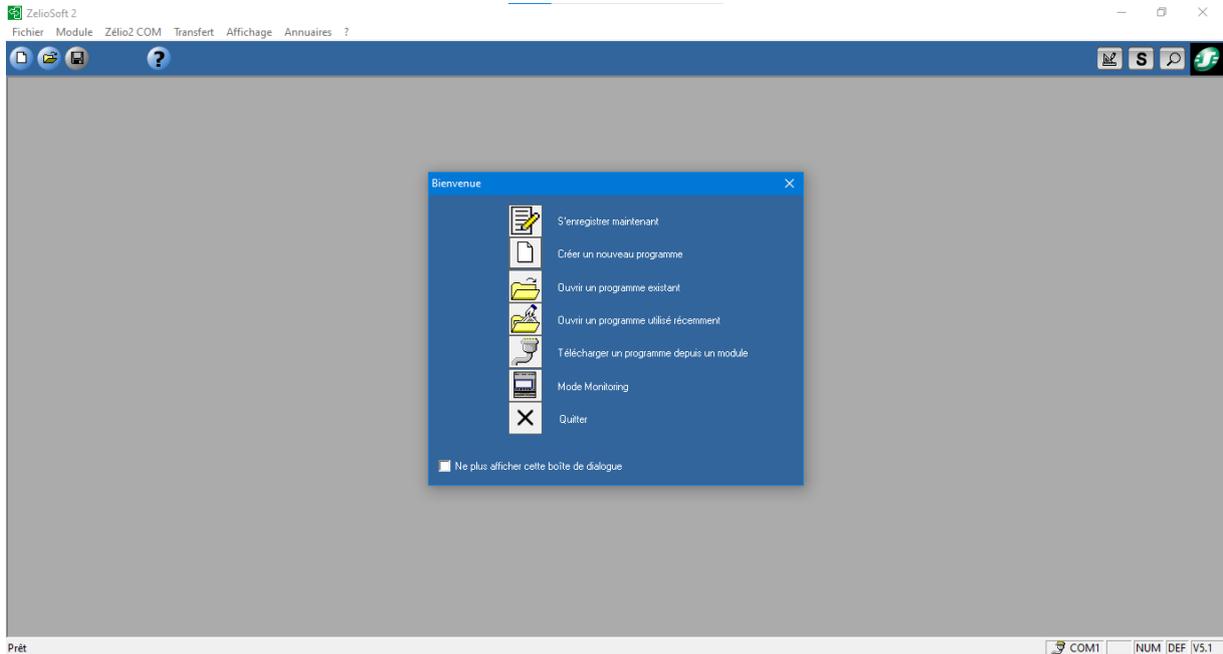


Figure III.3 : Création d'un nouveau fichier de programmation.

Etape 2 : Choisir la catégorie d'API.

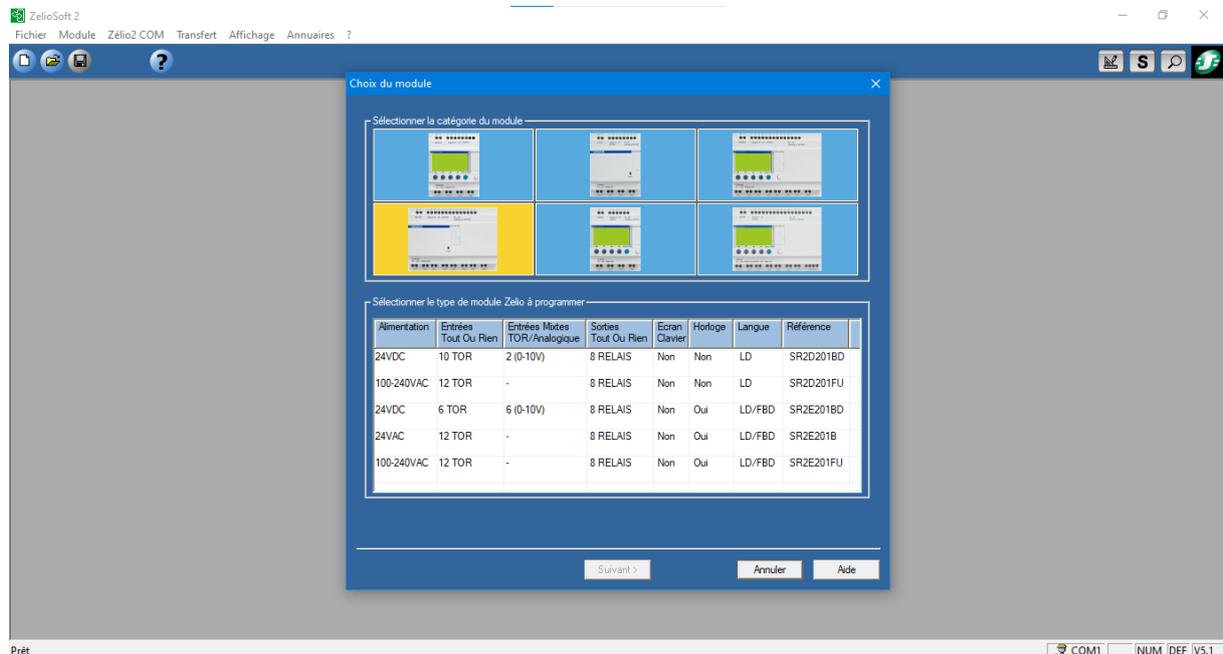


Figure III.4 : Choix de la catégorie d'API.

Etape 3 : Choisir le type de module puis appuyer sur "suivant".

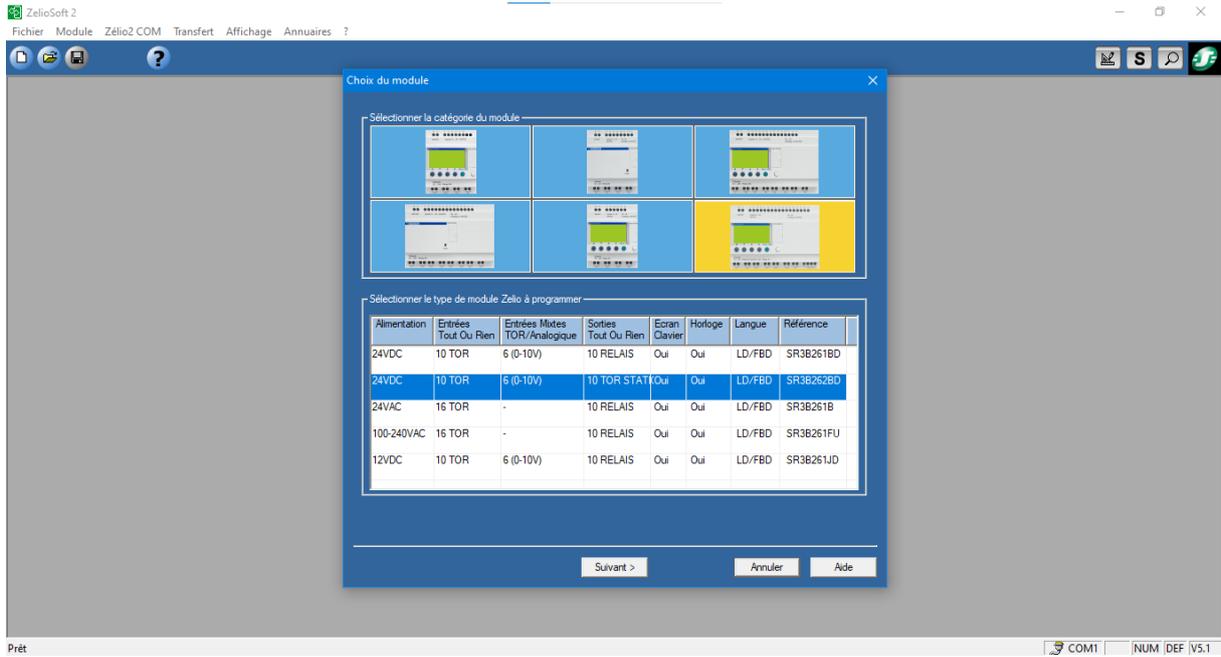


Figure III.5 : Choix du type de module.

Etape 4 : Sélectionner un autre module si les E/S sont insuffisantes, puis appuyer sur “suivant”.

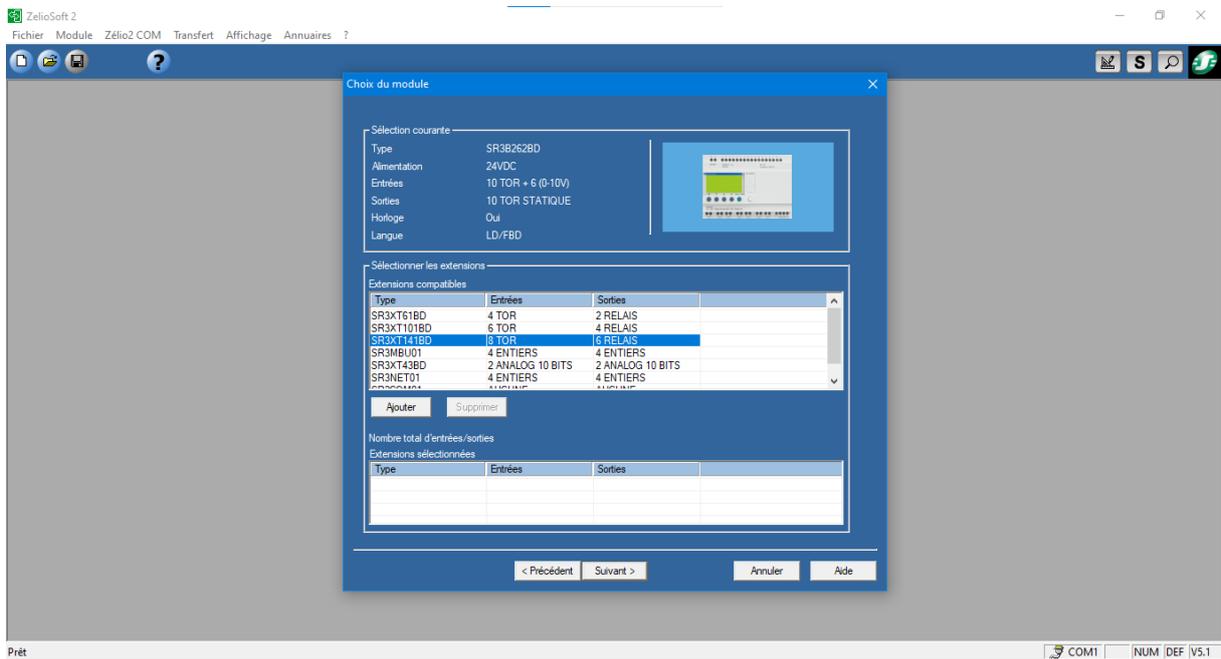


Figure III.6 : Ajouter des autres modules.

Etape 5 : Sélectionner le type de programmation, puis appuyer sur “suivant”.

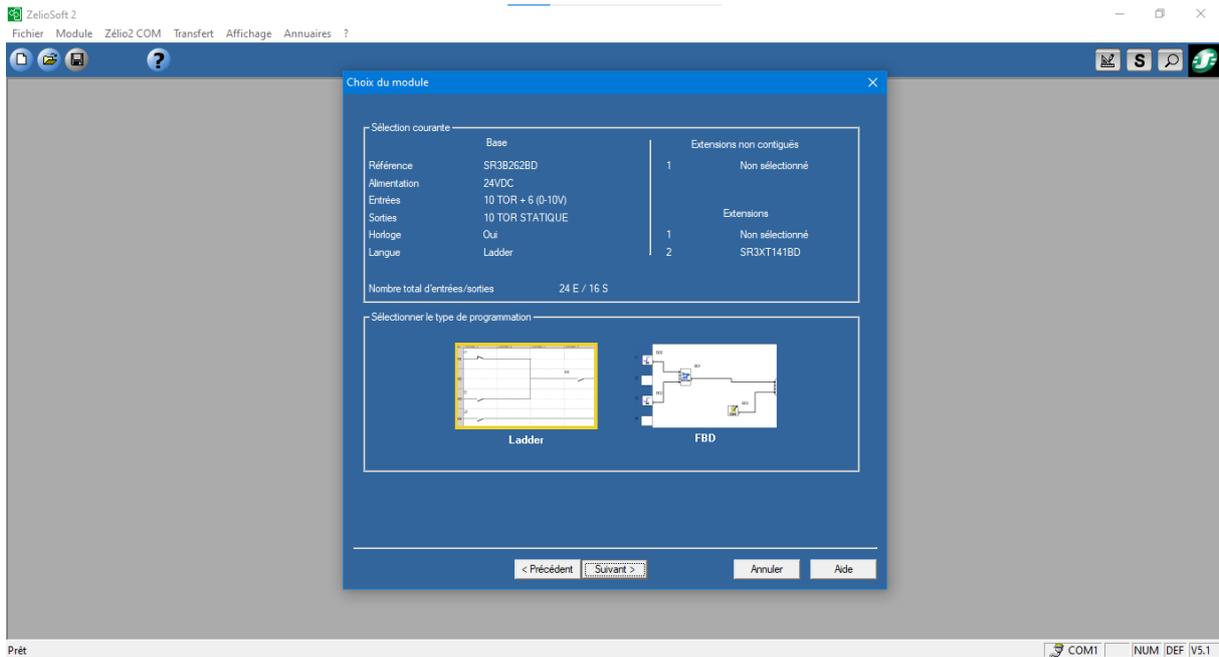


Figure III.7 : Choix du type de programmation.

Une page d'édition de programme ladder est affichée.

Toolbar icons and labels:

- New file
- Open a file
- Save
- Online Help
- Zoom (100%)
- 3 modes : Edit/Simulation/Monitoring
- Entry type (Zelio entry, Free entry)
- Program Consistency
- Settings
- Text entry

No	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Contact 4	Contact 5	Bobine	Commentaire
001	i1 □ Marche avant					RT1 □ Temporisation	Commande moteur
002	I2	Réseau de contacts					

Zone test: [Contact 1 to Contact 5]

Zone action: [Bobine]

Status bar:

- Number of program lines used: 2 Line(s) / 120
- Program configuration icon
- Logic module selected (possibly with the extensions): SR3B102BD, SR3XT141BD

Figure III.8 : Page d'édition [10]

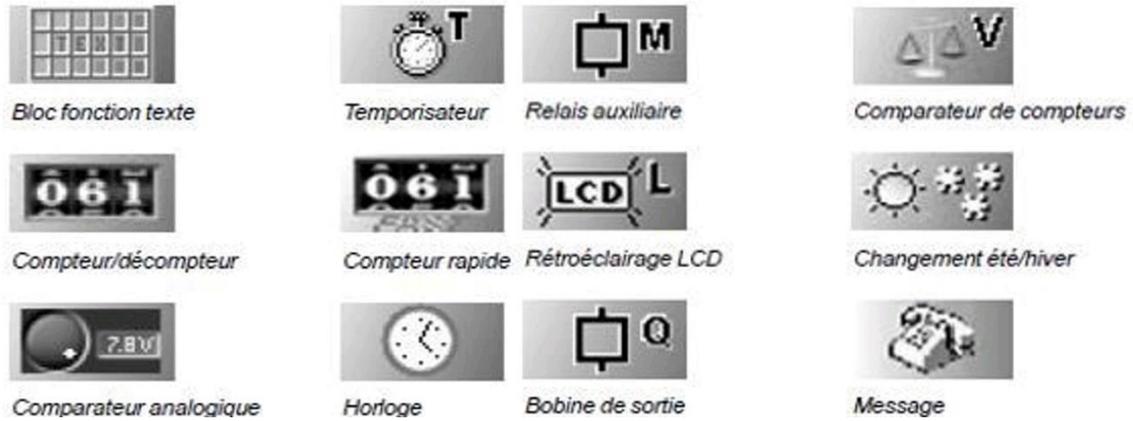


Figure III.9 : Outils de programmation [11]

Étape 6 : Ecrire le programme en langage ladder.

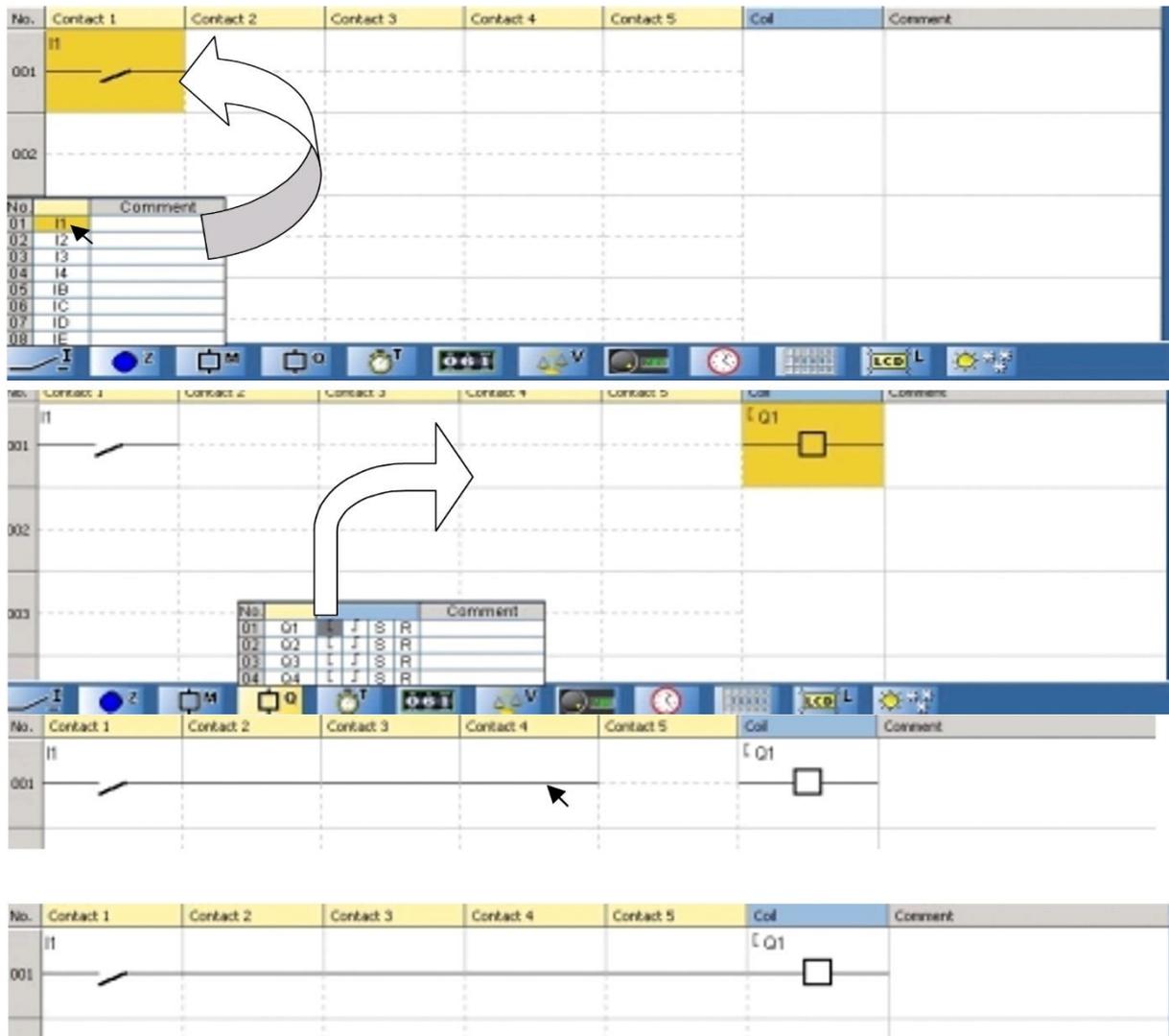


Figure III.10 : Exemple d'un programme en langage ladder.

Etape 7 : Test et simulation du programme.

On clique sur “S” pour passer en mode simulation.



Figure III.11 : Mode édition.

Puis, on clique sur “Run”.



Figure III.12 : Mode simulation.

Cette fenêtre va s’afficher.

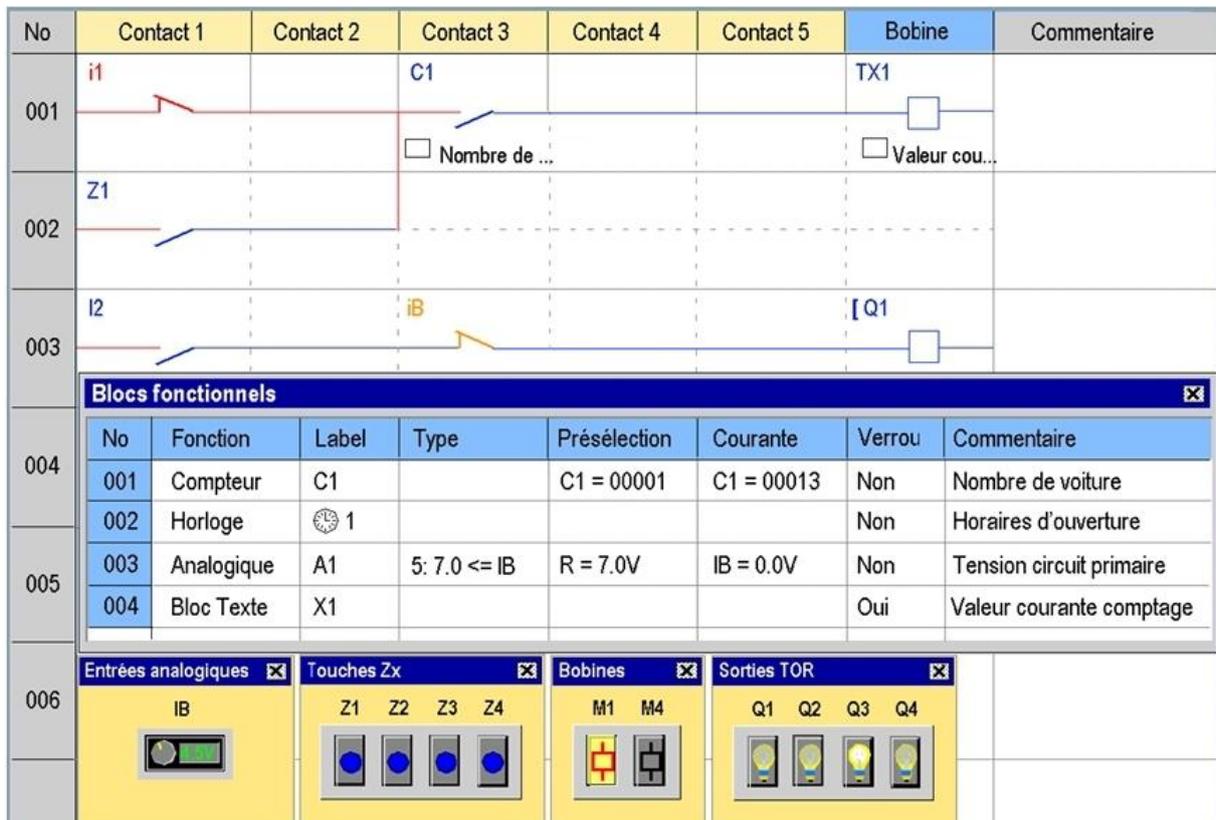


Figure III.13 : Page de simulation.

Etape 8 : Transférer le programme sur le module après l’avoir connecté.

Appuyer sur “transfert” puis sur “transférer programme” puis sur “PC > module”.

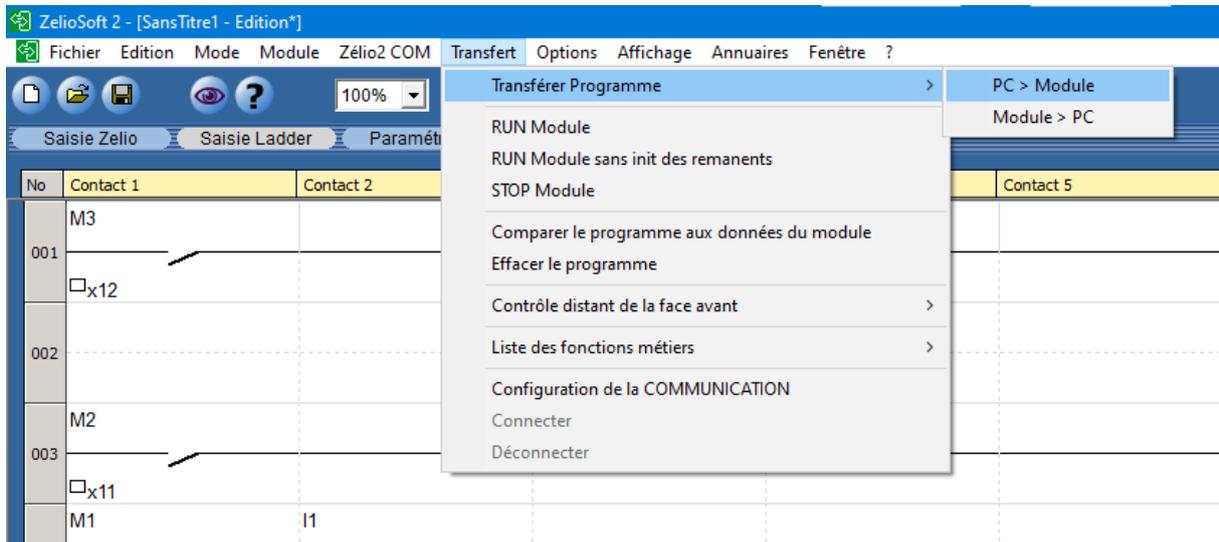


Figure III.14 : Transfert de programme sur le module.



Et après avoir terminé le téléchargement du programme :

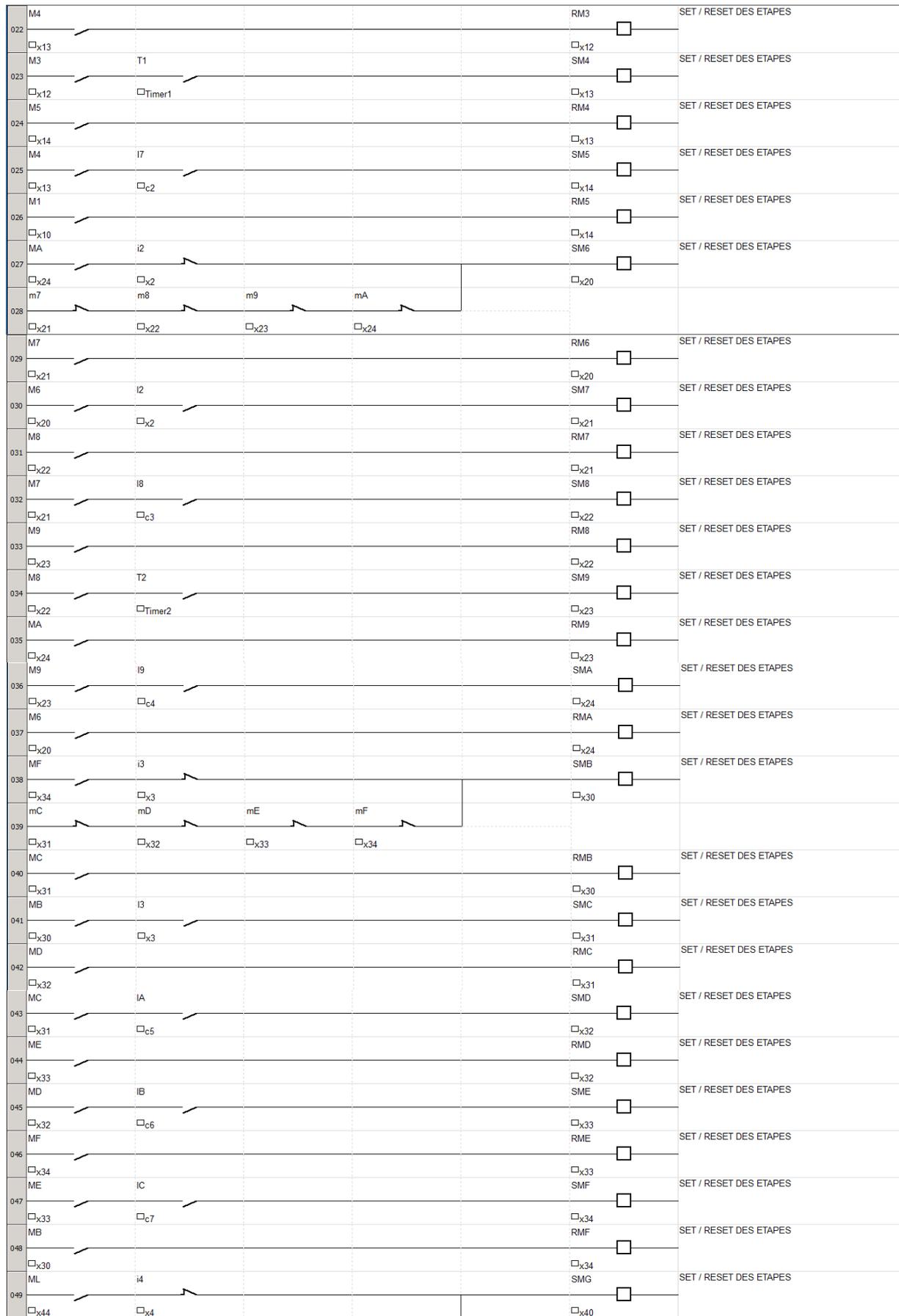
On sélectionne le mode RUN pour démarrer l’API directement.

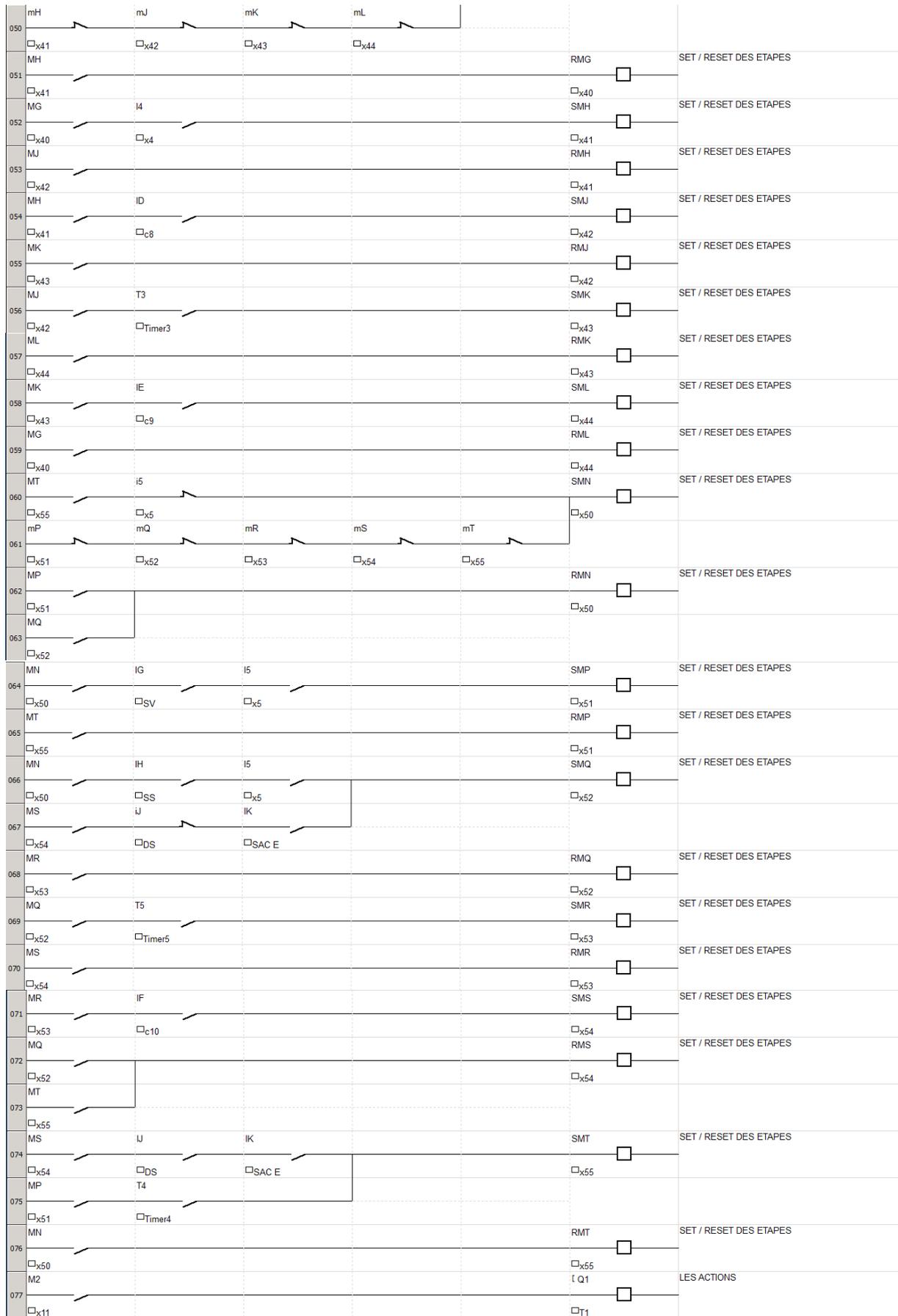
On choisit également le mode Monitoring pour visualiser en temps réel sur l’écran du PC l’évolution du programme sur site.

Figure III.15 : Sélectionne des modes.

3.4 Schéma du Programme en Langage ladder :

No	Contact 1	Contact 2	Contact 3	Contact 4	Contact 5	Bobine	Commentaire
001	M3					TT1	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
002	x12					Timer1	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
003	M8					TT2	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
004	x22					Timer2	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
005	MJ					TT3	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
006	x42					Timer3	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
007	MP					TT4	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
008	x51					Timer4	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
009	MQ					TT5	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
010	x52					Timer5	LES TEMPORISATEURS DE PROGRAMME
011	I1					TX1	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
012	x1					Texte 1	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
013	i1					RX1	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
014	x1					Texte 1	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
015	I2					TX2	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
016	x2					Texte 2	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
017	i2					RX2	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
018	x2					Texte 2	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
019	I3					TX3	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
020	x3					Texte 3	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
021	i3					RX3	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
022	x3					Texte 3	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
023	I4					TX4	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
024	x4					Texte 4	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
025	i4					RX4	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
026	x4					Texte 4	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
027	I5					TX5	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
028	x5					Texte 5	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
029	i5					RX5	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
030	x5					Texte 5	TEXTE A AFFICHER SUR L'ECRAN DU MODULE
031	M5	i1				SM1	SET / RESET DES ETAPES
032	x14	x1				x10	
033	m2	m3	m4	m5			
034	x11	x12	x13	x14			
035	M2					RM1	SET / RESET DES ETAPES
036	x11					x10	
037	M1	I1				SM2	SET / RESET DES ETAPES
038	x10	x1				x11	
039	M3					RM2	SET / RESET DES ETAPES
040	x12					x11	SET / RESET DES ET
041	M2	I6				SM3	SET / RESET DES ETAPES
042	x11	c1				x12	





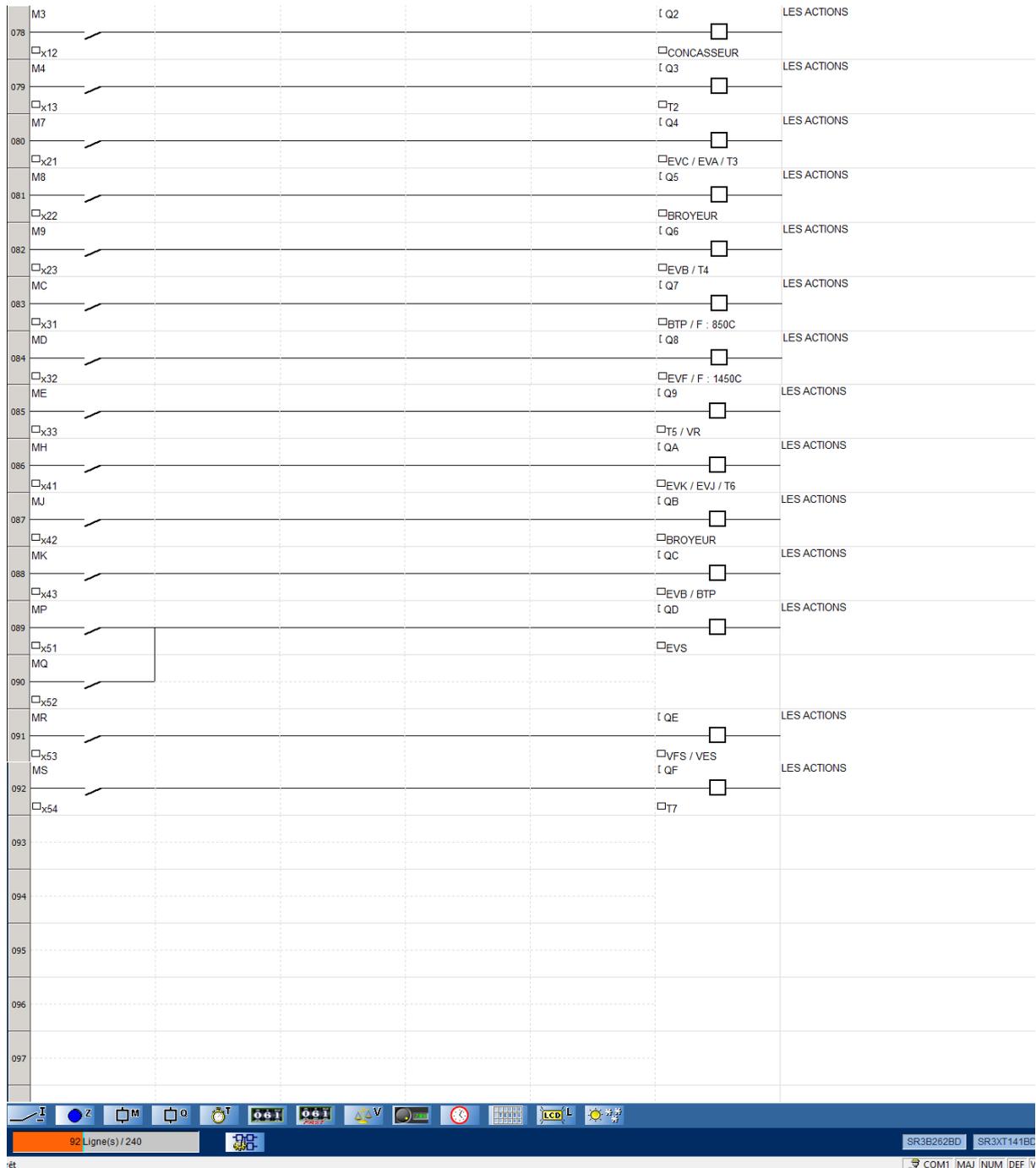


Figure III.16 : Schéma du Programme en Langage ladder.

3.4.1 Programmation des Eléments :

3.4.1.1 Temporisations :

Les temporisations qui fonctionnée dans le programme :

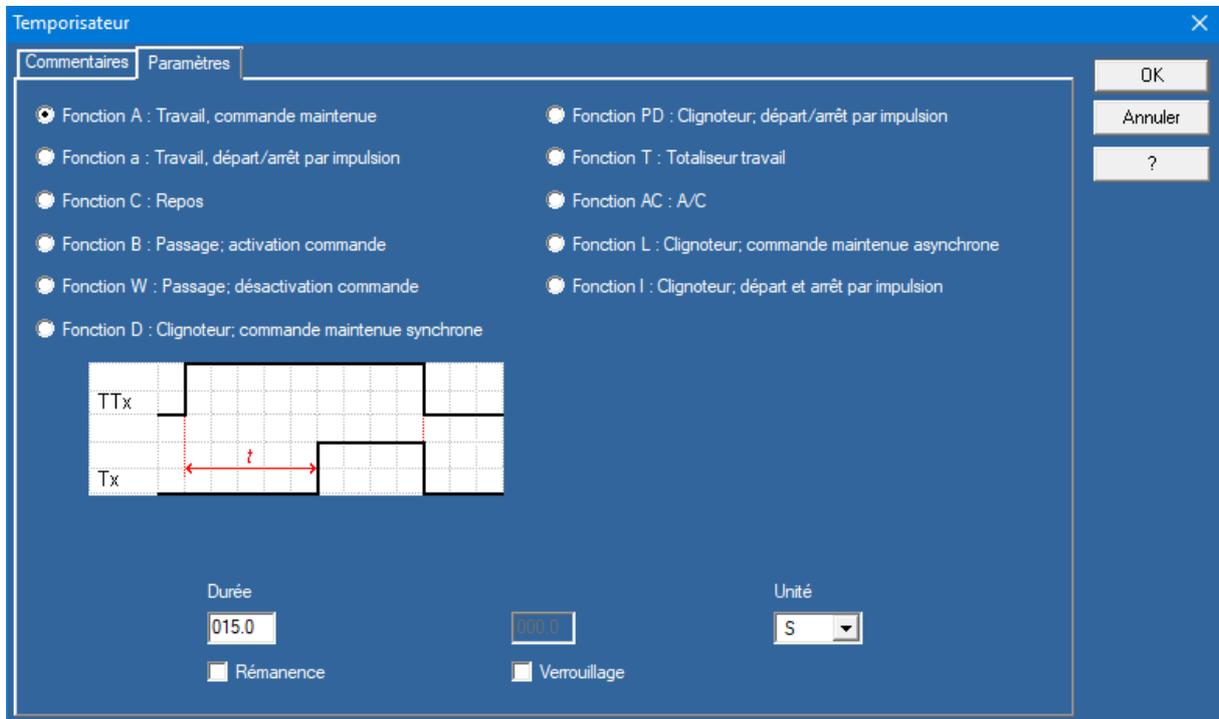


Figure III.17 : Programmation d'un temporisateur.

3.4.1.2 Textes à L'écran :

Texte à l'écran qui fonctionne dans le programme :

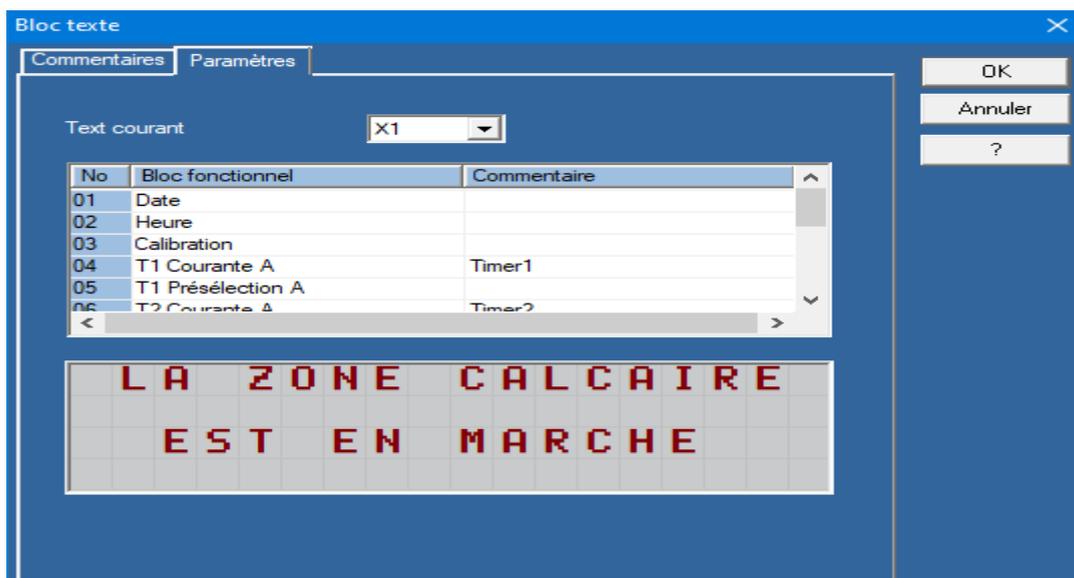


Figure III.18 : Programmation d'un texte à l'écran.

3.5 La simulation :

Lorsque nous appuyons sur "S", la page illustrée à la figure III.19 apparaît.

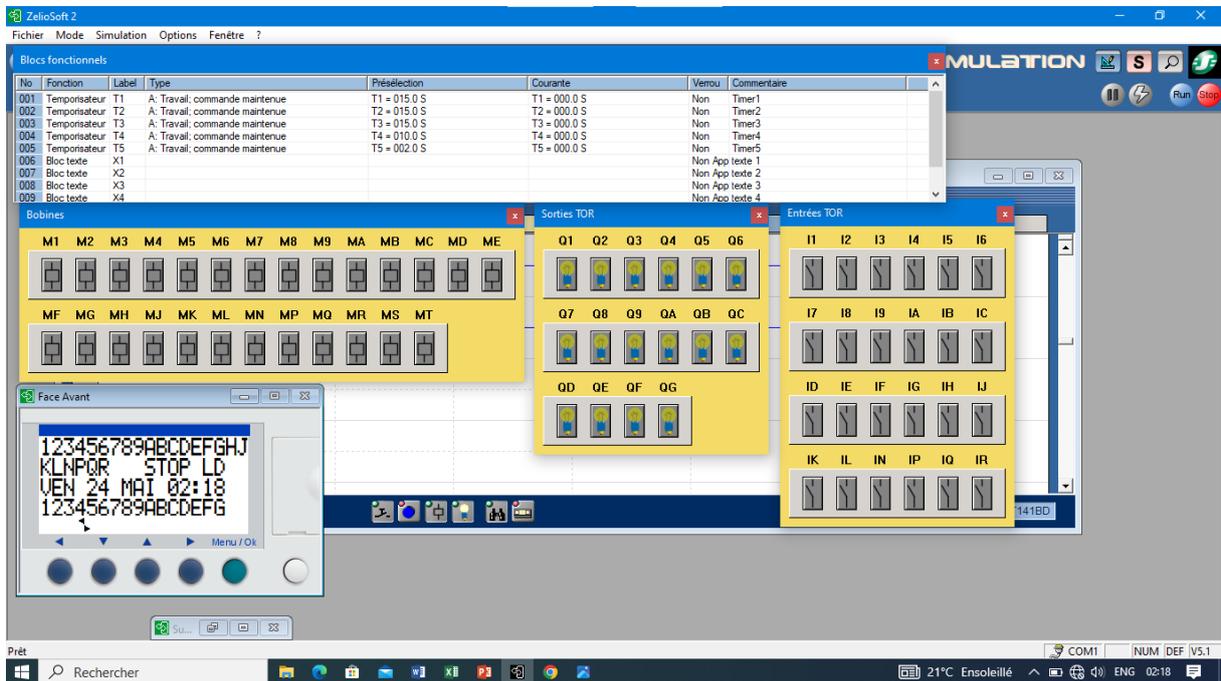


Figure III.19 : Démarrage de la simulation

Nous appuyons sur "RUN" et la page illustrée à la figure III.20 apparaît.

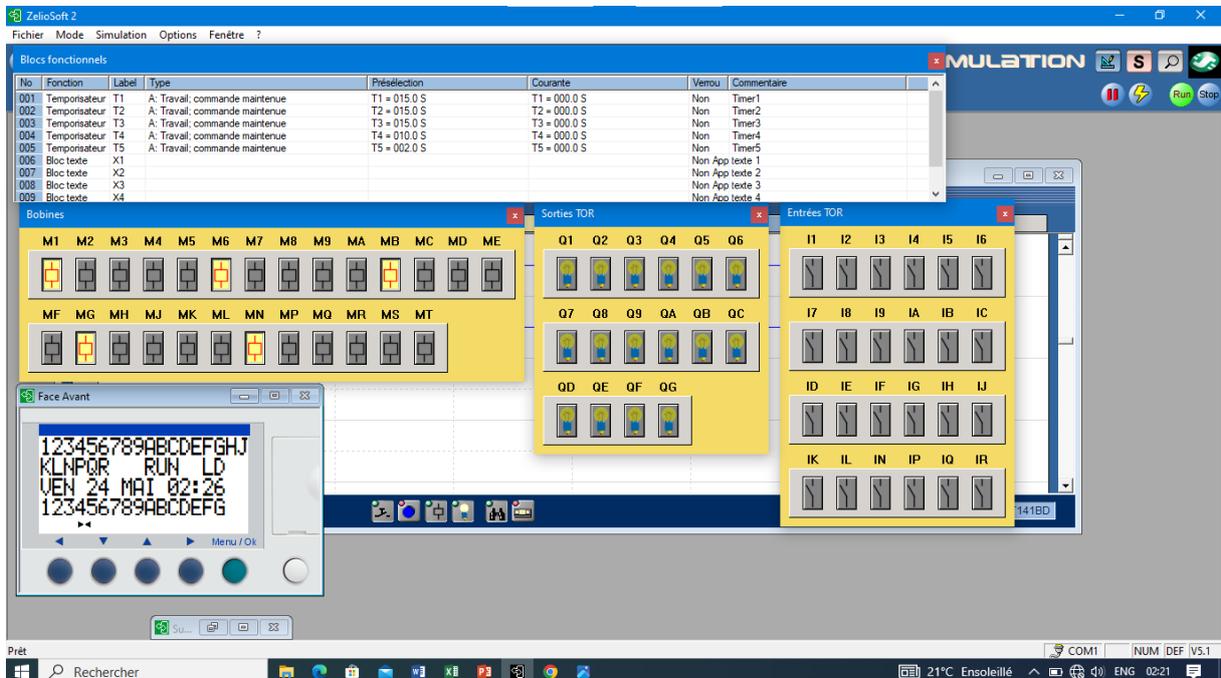


Figure III.20 : Exécution de la simulation.

On remarque que l'étape initiale de chaque zone fonctionne et reste en attente.

Lorsque nous appuyons sur x1(I1) l'étape x11(M2) démarre et T1 commence à fonctionner (Q1), et l'écran affiche "la zone calcaire est en marche", (La figure III.21).

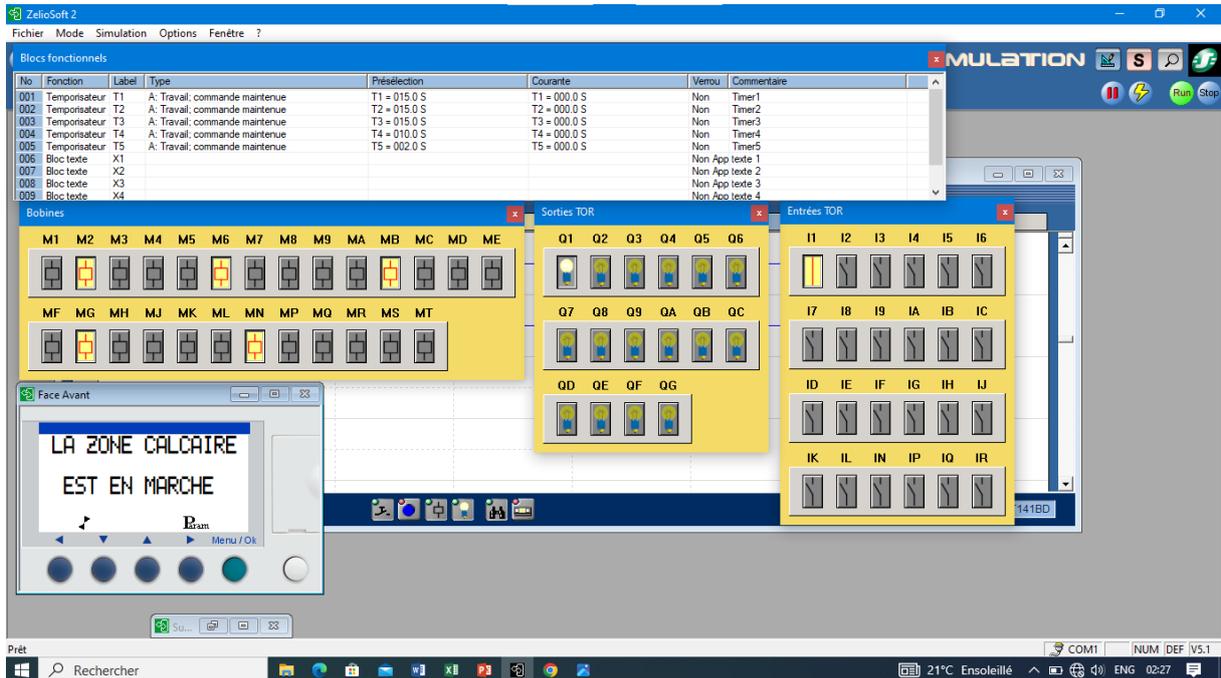


Figure III.21 : Démarrage de convoyeur T1.

Lorsque nous appuyons sur c1(I6) ce qui signifie la présence des roches dans le concasseur, le système passe directement à l'étape x12(M3), le concasseur démarre(Q2) et le temporisateur 1 commence à fonctionner, (La figure III.22).

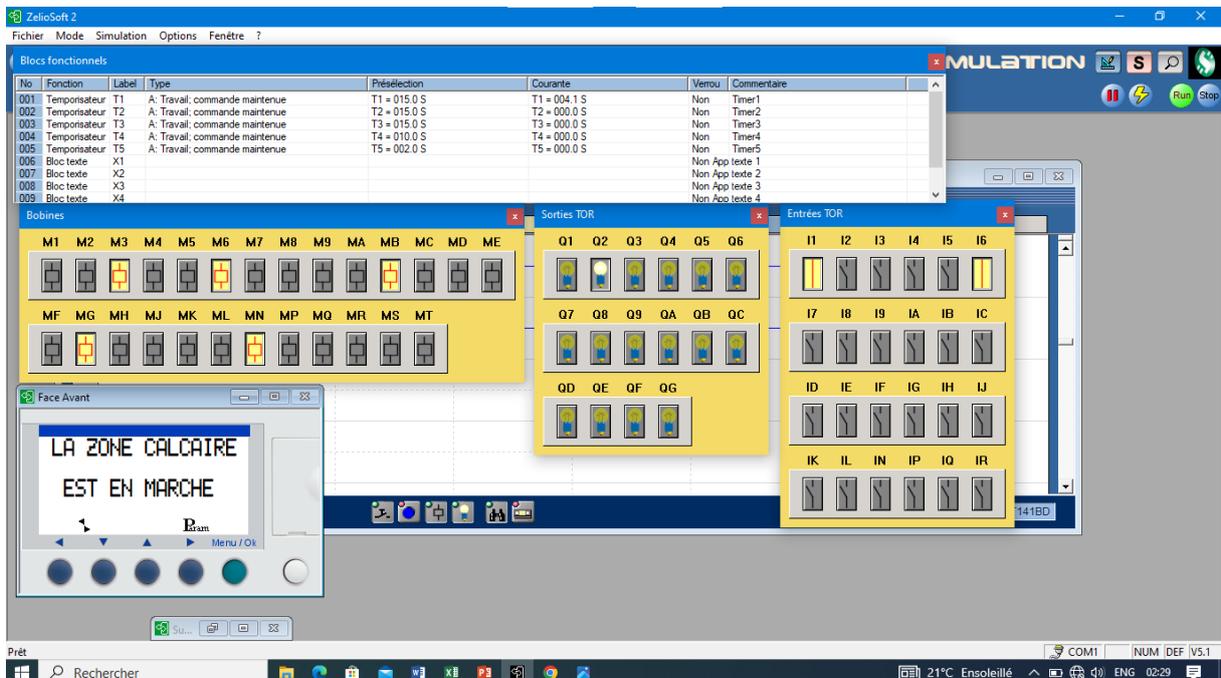


Figure III.22 : Démarrage de concasseur

Une fois le temps de comptage écoulé, le système passe à l'étape x13(M4) et T2 fonctionne(Q3), (La figure III.23).

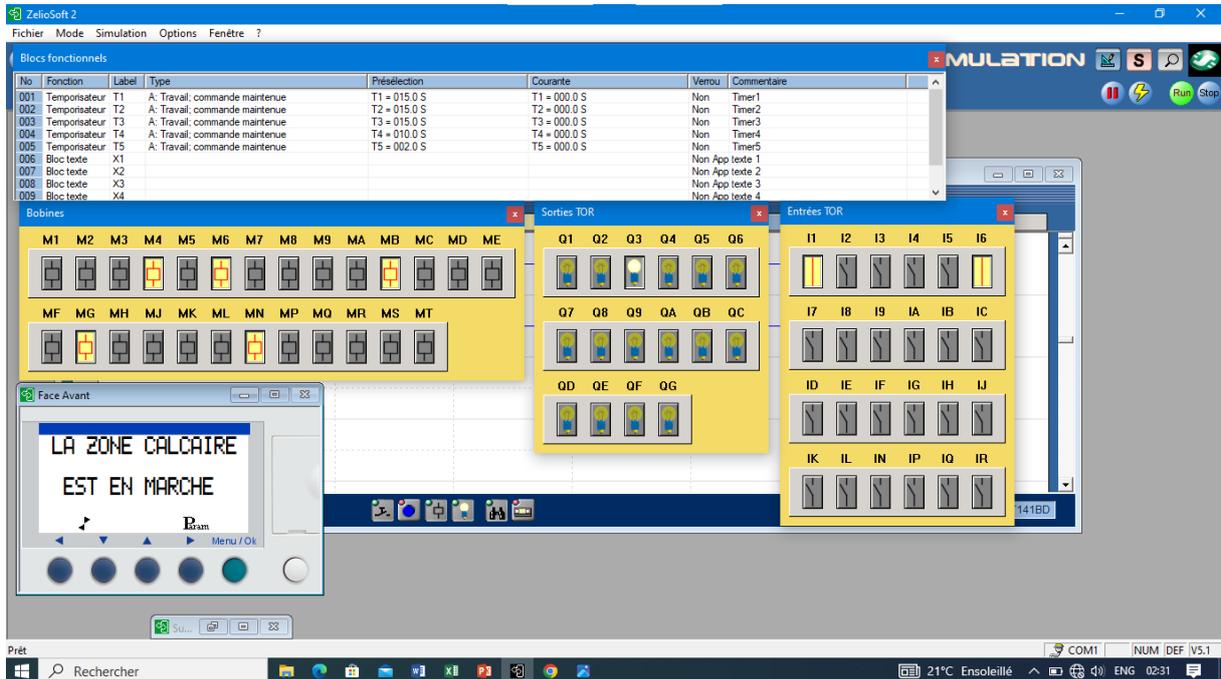


Figure III.23 : Démarrage de convoyeur T2.

Lorsque nous appuyons sur c2(I7) ce qui signifie que le niveau de silo de stockage est max, l'étape x14(M5) démarre, (La figure III.24).

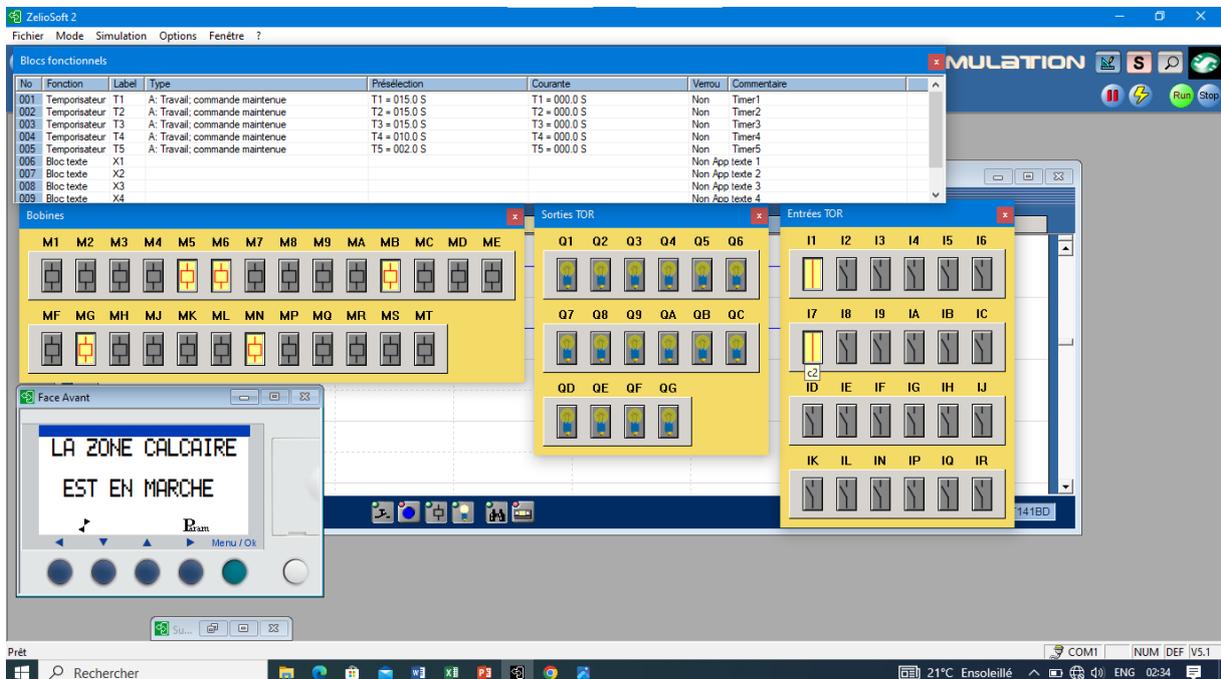


Figure III.24 : Maximum du silo.

L'étape x14(M5) reste en marche jusqu'à ce que x1(I1) soit désactivé, après le système revient à l'étape initiale x10(M1) et le contenu de l'écran disparaît, annonçant la fin du travail de la zone 1, (La figure III.25).

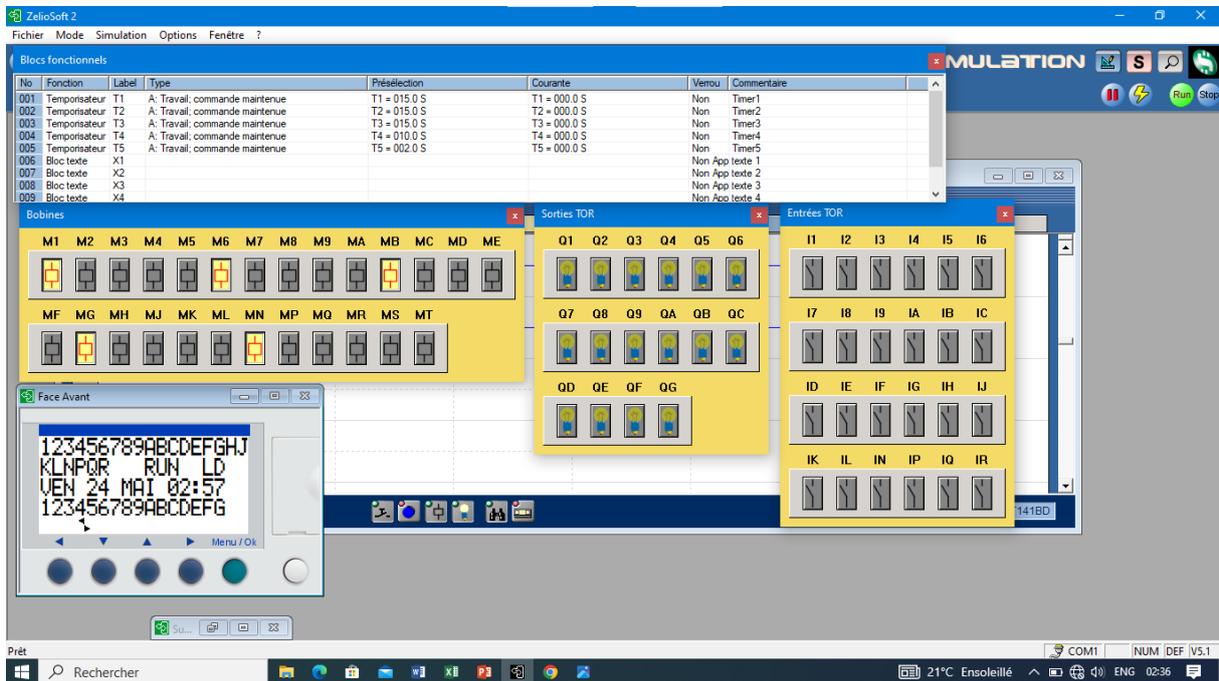


Figure III.25 : Fin de la zone 1.

La même chose se répète pour chaque zone selon les transitions et les étapes de son GRAFCET.

3.6 Conclusion :

Au début de ce chapitre, nous avons défini le module Zelio de Schneider. Ensuite, nous avons exploré l'utilisation du logiciel Zeliosoft2 pour programmer les modules, créé notre programme en langage ladder et simulé son fonctionnement pour assurer son bon déroulement avant de le transférer au module.

CONCLUSION GENERALE

Dans cette étude, nous avons approfondi notre compréhension des API et de leur programmation, en mettant un accent particulier sur le module Zelio. Nous avons également exploré le logiciel de programmation Zeliosoft2 et ses diverses utilisations. Ce logiciel nous a permis de configurer et de simuler des relais programmables de manière intuitive et efficace. Parallèlement, nous avons étudié en détail le processus de fabrication du ciment, en suivant toutes les étapes depuis l'extraction des matières premières jusqu'au produit final. Cette analyse nous a permis de mieux comprendre les défis techniques et les solutions possibles pour optimiser la production de ciment

Notre objectif principal était d'utiliser ces connaissances pour améliorer les processus industriels dans le secteur cimentier. En intégrant des technologies avancées comme les API et des logiciels de programmation sophistiqués, nous visons à augmenter l'efficacité et la qualité de la production. Nous avons également examiné les avantages de l'automatisation dans la gestion des processus industriels, soulignant comment les relais programmables peuvent simplifier et améliorer les opérations quotidiennes.

La combinaison de la théorie et de la pratique a été essentielle dans cette étude. Nous avons appliqué les concepts appris pour proposer des solutions concrètes et innovantes. Par exemple, en utilisant Zeliosoft2, nous avons pu créer des programmes de contrôle qui optimisent les phases critiques de la production de ciment, réduisant ainsi les temps d'arrêt et améliorant la qualité du produit final.

Cette étude vise à encourager l'innovation dans l'industrie du ciment en adoptant des technologies modernes. Nous espérons que nos conclusions aideront les entreprises à améliorer leurs processus de production et à offrir des produits de meilleure qualité à leurs clients. En fin de compte, notre travail a pour but de contribuer au développement durable de l'industrie cimentière, en proposant des méthodes plus efficaces et respectueuses de l'environnement.

Bibliographie

- [1] Guerba Moussa , Mamoun Abdelhak "Intégration de la commande électrique des grilles de refroidissement dans le système SIMATIC PCS7 au niveau de la cimenterie de MEFTAH (SCMI)" , Mémoire de Master, Université Blida 1, 2018/2019.
- [2] [http://www.radioalgerie.dz/27622-indestrie du ciment](http://www.radioalgerie.dz/27622-indestrie-du-ciment)
- [3] le procédé de fabrication de ciment de la SCMI03/2011 (Documentation de l'usine).
- [4] https://www.espacetechnologue.com/wp-content/uploads/2020/04/Chapitre-2_PAAPI.pdf
- [5] W. Bolton, Programmable Logic Controllers, Sixth Edition, Published by Jonathan Simpson, 2015.
- [6] <https://public.iutenligne.net/informatique/informatique industrielle/deprez maillefert/Autom/2Pupitre/premieres programmations et dcouverte du langage ladder.html>
- [7] <https://sitelec.org/cours/abati/grafcet1.htm>
- [8] Schneider electric / Zelio logique / voir le lien : www.se.com/fr
- [9] https://sitelec.org/download_page.php?filename=schneider/zelio.pdf
- [10] Schneider-Electric, Home, [en ligne], [consulté le 27 juin 2017]. Disponible sur « http://www.schneiderelectric.es/html/Zelio2/files/zeliologic_compact_modulaire.pdf »
- [11] Schneider-Electric, documentation logiciel Zelio soft-CD d'installation.