

*République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*

*Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie Electrique et de l'Informatique
Département d'Electrotechnique*



Mémoire



De Fin D'études

En vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'Etat en électrotechnique

Option : Réseaux électriques

Thème

*Etude du processus de l'injection
plastique et optimisation électrique et
automatique*

Proposé et encadré par :

M^r. Otmane cherif.

M^r. Bouibeb. M

M^r.Haddid. M

Etudié Par :

M^r : Harb Ahmed

M^r Chakour Mohand

Promotion 2010

DEDICACES

Je dédie ce mémoire de fin d'études :

A mes chers parents ;

A mes frères et soeurs ; Amar, Ali, Arezki, Chabha, Razika

Au Petit ange Wail ainsi qu'à Boualem et toute sa famille

*A mes oncles **Rabah ; Said***

*A mes grands mères **Ouardia, Dahbia***

*A la mémoire de mes chers grands parents (**Arezki, Ali**)
que dieu vous accorde les portes de son grand paradis ;*

*A mes chers cousins **Farid ; Zizou, Lounas, Mouloud,
Nacer, Djilali, Salem, Javzi, Hocine, Ali, Hassan, Salem***

*A mes chères tantes **Dahbia, Thassadith, Fatima, Sadia,
Chabha***

*A **Karima** ainsi qu'à toute sa famille*

*A mes chers amis en particulier **Massinissa, Hassan, Rougi,
Med Karoune, Marzouk Imache, Ferhat, Ghiles Gada et Hamroune,
Kamal, Amar, Said Harhad**, et à tout ceux que j'ai pas cité*

*A mon binôme **Mohand** avec qui j'ai eu le plaisir de
partager ce projet de fin d'étude ainsi à toute sa famille ;*

Et à tous ceux qui se reconnaîtront à ce mot « Ami ».

HARB AHMED

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
<u>Chapitre I. Partie I. Généralités sur le PET.....</u>	3
I.1. Généralités	3
I.2. Formation des polymères.....	4
I.2.A. Polymérisation	4
I.2.B. Polycondensation	4
I.3. Thermoplastique, Thermodurcissable et élastomère	4
I.4. Les propriétés des polymères.....	5
I.5. Utilisation des polymères	6
I.6. Le polyéthylène téréphtalate (PET).....	7
I.6.1. Interaction entre la résine, la transformation et la qualité du produit	8
I.6.2. Synthèse de la résine PET	8
I.6.3. La composition du PET	8
I.6.4. Fabrication du PET	9
I.6.5. Réaction parallèles intervenant pendant la fabrication de PET.....	10
c) La formation du groupe oligomère cyclique.....	10
I.6.6. Utilisation courante du PET.....	10
I.6.7. Définition des principaux termes utilisés pour le traitement du PET.....	10
I.6.8. Absorption d'humidité par le PET.....	11
<u>Partie II : traitement et injection du PET.....</u>	12
II.1. Introduction	12
II.2. Traitement du PET	12
II.2.1. Description du processus	13
II.2.2. Le déshumidificateur (Sécheur matière) DP 630.....	14
A) Description	14

B) Fonctionnement	14
II.3. Moulage du PET par injection.....	15
II.3.1. Description fonctionnelle de la machine	15
II.3.2. La vis de plastification	16
A. Fonctions de la vis.....	16
II.3.3. Le moule	18
II.3.4. Le déshumidificateur moule (RPA1800).....	21
A) Description	21
B) Fonctionnement.....	21
II.3.5.fonctionnement de la machine de mise en box des préformes.....	24

Chapitre II. Partie I Evaluation des puissances et dimensionnement du transformateur.

I.1.Introduction	26
I.2.Bilan de puissance.....	26
I.2.A. Définition des différentes puissances.....	26
b ₁ . Facteur d'utilisation(Ku).....	27
b ₂ .Facteur de simultanéité (Ks).....	27
I.2.B. Description de l'atelier plastique	28
I.3. Compensation de la l'énergie réactive.....	29
1.3.5. Mode de compensation	30
A) Compensation globale	30
I.5. Calcul de la puissance totale consommée au niveau de l'atelier	31
I.5.1.Puissance consommée dans chaque cellule	31
Puissance consommée au niveau de chaque récepteur	31
Puissances actives et réactives consommées par les départs des cellules	32
I.5.2.Dimensionnement des armoires de distribution (cellules).....	35

a) La puissance active et réactive de la cellule N°1	35
b) La puissance active et réactive de la cellule N°2.....	35
c) La puissance active et réactive de la cellule N°3	35
1.5.3. Dimensionnement du tableau général basse tension (TGBT)	36

Partie II. Détermination des sections des conducteurs et des choix des protections.

II.1.Introduction	37
II.2. Canalisations basse tension.....	38
II.2.1. Définition des termes relatifs aux canalisations basse tension.....	38
2.1.2. Choix des câbles.....	40
2.1.3. Câble utilisé.....	40
2.1.6. Choix du mode de pose	41
II.3. Les différents régimes du neutre.....	42
Le choix du régime du neutre	43
II.4.Principe de la méthode.....	44
1. Calcul du courant d'emploi IB	44
2. Choix du calibre de l'appareil de protection.....	46
3. Détermination de la section de la canalisation.....	46
a) Méthode de référence et facteur de correction lié au mode de pose K1.....	47
b) Facteur de correction lié au groupement de circuits K2.....	48
c) Facteur de correction lié à la température ambiante K3.....	49
d) Choix de la section des conducteurs	49
4. Section du conducteur neutre	51
5. Section du conducteur de protection	52
6. Vérification de la chute de tension maximale.....	52
7. Calcul des courants de courts-circuits.....	53
8. Vérification éventuelle de la contrainte thermique.....	55
9. Vérification des longueurs maximales protégées.....	55
❖ Résumé.....	56
10. La sélectivité entre dispositifs de protection.....	57
II.5.Calcul des sections des canalisations et des protections avec le logiciel ECODIAL.....	57

II.5.1.Description.....	57
II.5.2.Fonctionnement	58
II .6 . Résultats de calculs.....	61

Chapitre III. Partie I Description et modélisation du système à l'aide du GRAFCET.

A) Description du système.....	64
I. Introduction	64
II. Les systèmes de production d'énergie.....	64
II.1. Production d'énergie pneumatique	64
II.1.1. Conditionneur de l'air.....	64
III. Définition du système automatisé de production	65
III.1. La <u>partie opérative</u> (PO).....	66
III.1.1. Les Pré-actionneurs.....	66
III.1.1.1. Electrovanes	67
III.1.1.2. Les distributeurs.....	67
a). Principe de fonctionnement	67
III.1.1.3. Le contacteur	67
Les contacts de puissance	68
c). Le principe de fonctionnement	68
III.1.2. Les actionneurs	68
III.1.2.1. Différents types d'actionneurs	68
III.1.2.1.1. Actionneurs utilisant l'énergie pneumatique.....	69
a). Les vérins.....	69
III.1.2.1.2. Actionneurs utilisant l'énergie électrique	70
❖ Les différents moteurs existant dans la nacelle	72
III.1.3. Les Capteurs	72
III.2. Partie commande (PC)	74
III.2.1. Le Poste de contrôle	74
a). Boutons et sélecteurs	75

IV. Procédure de mise en marche et d'arrêt	75
B) Modélisation du système	76
I. Introduction	76
II. Historique	76
III. Définitions et notions fondamentales	76
III.1. Définition du Grafcet	76
III.2. Structure graphique du GRAFCET	77
III.2.1. L'étape.....	77
III.2.2. Actions associées à l'étape	78
III.2.3. Transitions	78
III.2.4. Réceptivité	79
III.2.5. Liaisons orientées.....	79
IV. Syntaxe et règles d'évolution.....	79
IV.1. Syntaxe.....	79
IV.2. Règles d'évolution	79
V. Les règles de construction d'un Grafcet	80
V.1. Convergence en ET	80
V.2. Divergence en ET	80
V.3. Convergence en OU	81
V.4. Divergence en OU.....	81
V.5. Saut d'étapes	81
V.6. Reprise de séquence	82
VI. Niveau du GRAFCET	82
VI.1. Grafcet niveau 1	82
VI.2. Grafcet niveau 2	82
VII. Mise en équations du Grafcet	83
VIII. Application du Grafcet au procédé.....	84
V. Conclusion partielle.....	85

Partie II Présentation de l'API S7-300 et son langage de programmation

I. Bref historique	86
II. Introduction	86
III. Automate programmable industriel	86
III.1. Définition	86
III.2. API dans son environnement.....	86
III.2.1. Rôle de commande.....	86
III.2.2. Rôle de communication	86
III.2.3. Outils de communication	87
III.2.4. Insertion de l'automate dans un procédé	87
III.3. Nature des informations traitées par l'automate	88
IV. Les systèmes de commande	88
IV.1. La solution câblée	88
IV.2. La solution programmée	89
V. Choix d'un type d'API	89
VI. Présentation de l'automate S7-300.....	90
VI.1. Caractéristiques du S7-300.....	90
VI.2. Modularités du SIMATIC S7-300	90
VI.2.1. Modules d'alimentation (PC)	91
VI.2.2. Unité Centrale (CPU)	91
VI.2.2.1. Processeur	92
VI.2.2.2. Mémoire	92
VI.2.2.3. Modules de coupleurs (MI).....	94
VI.2.4. Modules de signaux (SM)	95
VI.2.4.1. Modules d'entrées / sorties (TOR)	95
VI.2.5. Module de fonction (FM).....	95
VI.2.6. Modules de communication (CP).....	96
VI.2.7. Châssis d'extension (UR).....	96
VI.2.8. Les périphériques de communication.....	96
VII. Adressage des modules du S7-300	97
VII.1. Adressage des modules liés à l'emplacement	97

VII.2. Adressage absolu des modules de signaux	97
VII.2.1. Adressage des modules TOR	97
VII.2.2. Adressage des modules analogiques	97
VII.2.3. Adressage symbolique	98
VII.2.4. L'instruction	98
VII.2.5. Mémentos	99
VIII. Programmation de l'API S7-300.....	99
VIII.1. Principe de conception d'une structure de programme	100
VIII.1.1. Système d'exploitation	100
VIII.1.2. Programme utilisateur	100
VIII.1.3. Traitement du programme par l'automate	100
VIII.2. Blocs STEP7	100
VIII.2.1. Blocs utilisateur	100
VIII.3. Structure d'une programmation.....	101
VIII.4. Langage de programmation.....	102
VIII.5. Opérations du STEP7	103
IX. Création d'un projet en STEP7	104
IX.1. Lancement du logiciel	105
IX.2. Configuration du Matériel de l'automate	108
X. Programmation avec le logiciel STEP7	110
XI. Conclusion partielle	111

CONCLUSION GENERALE

Introduction Générale

L'amélioration de la performance des entreprises soumises à une demande et des impératifs industriels de réactivité et de qualité dans la fabrication des produits, à cout faible et dans des délais courts, est devenue un des moteurs de l'activité économique et de développement des entreprises. Cette performance passe par une meilleure efficacité technique du système de production, ou l'ensemble des acteurs d'un processus industriel cherche à exploiter au maximum les possibilités de celui-ci, en métrisant la compréhension et la résolution des problèmes de logistique par la mise en œuvre des compétences tirées des sciences de l'ingénieur.

Dans notre travail nous portons notre intérêt sur un processus industriel, qui est l'injection plastique au sein de l'atelier plastique de l'unité eau minérale Lalla Khedidja (CEVITAL).

L'objectif général de ce travail et de toucher à ce processus industriel dans tout ses aspects, que ce soit mécanique, électrique ou automatique. Pour cela, nous avons divisé notre travail en trois chapitres.

Le premier comporte deux parties. La première partie s'étale sur des généralités sur les polymères, et particulièrement sur le PET (polyéthylène téréphtalate) qui est la matière première de production des bouteilles d'eau, et qui est utilisé dans de nombreuses applications : fibres synthétiques, supports d'enregistrement, composants industriels, emballages alimentaire ou cosmétique, etc..... La deuxième partie est consacrée à l'étude du processus de traitement de la matière, et à l'injection plastique, ou nous procéderons à la description des différentes étapes de la mise en forme de ce produit, et la description fonctionnelle des machines qui nous permettent d'obtenir les préforme.

Pour le deuxième chapitre, nous allons choisir de dimensionner un transformateur pour l'atelier plastique pouvant faire l'objet d'une future installation. Notre objectif dans cette partie, c'est d'être capable de justifier les choix technologiques d'une installation basse tension, et choisir les éléments la constituant. Pour cela nous avons divisé notre travail en deux partie, la première consiste à faire le bilan des puissances à partir des puissances des récepteurs de l'atelier, en suite, dimensionner un transformateur pouvant subvenir aux besoins de la charge. Dans la deuxième partie, nous allons calculer les sections des câbles et les protections, ou nous nous étalerons sur une méthode théorique de calcul des sections et des

Introduction Générale

protections, en suite nous allons faire le calcul des sections des câbles et les protections via un logiciel de calcul (ECODIAL), qui est un logiciel de dimensionnement électrique.

Dans le troisième chapitre nous allons automatiser certaines fonctions de la machine de mise en box des préformes qui ne le sont pas encore. Pour cela nous allons repartir ce chapitre en deux parties. Dans la première nous allons faire la description et la modélisation par le GRAFCET de la machine. La deuxième partie sera consacrée à la présentation de l'automate S7-300 et son langage de programmation STEP7.

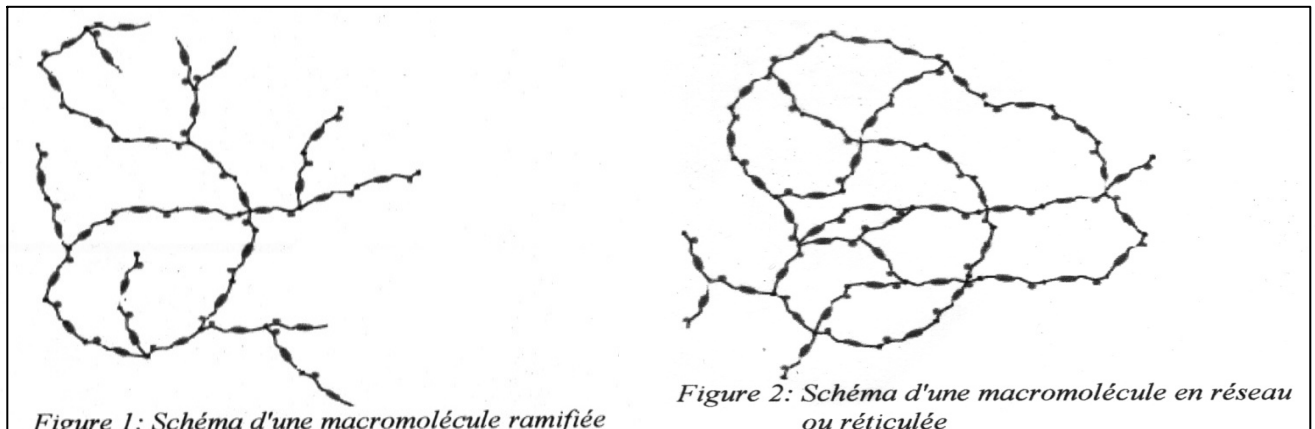
I.1. Généralités :

Les polymères, appelés communément "matières plastique", sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Le plus souvent synthétiques, quelque fois naturels, la nature particulière de leurs molécules en forme de chaîne ainsi que la variété des modes d'assemblage qu'elles adoptent, les rendent différents des métaux, des roches et des céramiques. Ils sont : durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelque fois conducteurs, plus au moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers.

Polymère est un mot venant du grec «Pollus» plusieurs, et «Meros» partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec Monos : un seul(e), et Meros : partie) reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Au début du XXI^e siècle, Wilhelm Eduard Weber ou encore Henri Braconnot ont présagé la notion de macromoléculaire au moment où de nombreux chercheurs ne la voyaient que des agrégats ou micelles. Il faut attendre les années 1920 – 1930 pour que l'idée de macromolécule soit acceptée, notamment grâce aux travaux de d'Herman Staudinger. Le développement consécutif de la science macromoléculaire a été accéléré, ils ont alors lancé un immense programme de recherche dans le but de trouver des substituts de synthèse.

Comme une répétition des monomères est rarement parfaitement linéaire, leur enchaînement constitue une macromolécule ramifiée (figure 01), l'enchaînement de ces dernières constitue une macromolécule en réseau ou réticulée (figure 02).



Un corps formé de polymères peut se présenter sous forme liquide ou solide à température ambiante. Les polymères sont synthétisés chimiquement à partir du pétrole, mais également du charbon, du gaz naturel et du bois d'autres substances végétales, par exemple : polymère naturel (ADN) ; obtenu par modification chimique d'un polymère naturel (Méthylcellose), ou bien entièrement synthétisé par voie chimique (Poly isoprène) par une réaction de polymérisation, l'enchaînement des monomères peut se faire de façon linéaire, présenter des ramifications aléatoires ou systématiques et régulières.

I.2. Formation des polymères :

On distingue deux grandes catégories de réaction chimiques permettant la préparation des polymères.

I.2.A. Polymérisation :

C'est une transformation à partir de molécules de bases identiques, sous pression et température, par amorçage, radicalaire ou ionique par rayonnement, avec utilisation des catalyseurs appropriés, ou sous l'effet conjugué de plusieurs de ses facteurs. [1]

I.2.B. Polycondensation :

Le point de départ est une réaction qui a lieu sans amorçage, entre des molécules de bases différentes, elle est plus lente que la précédente (polymérisation), et donne un résidu qui est généralement de l'eau. [1]

I.3. Thermoplastique, Thermodurcissable et élastomère :

Les polymères sont souvent classés d'après leurs propriétés thermomécaniques citant : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères.

I.3.1. Les thermoplastiques :

Qui deviennent malléables quand ils sont chauffés, ce qui permet leur mise en œuvre ; en revanche l'avantage est que dans l'état fondu, on peut les mouler dans la forme que l'on veut. [1]

I.3.2. Les thermodurcissables :

Qui durcissent sous l'action de la chaleur ou par ajout d'un additif, ils sont également très employés pour fabriquer les pièces de structure thermostables, on les met en forme lorsqu'ils sont dans leurs état mou, de la même manière que les thermoplastiques, avant qu'ils ne durcissent sous l'effet de la chaleur et des additifs chimique qui induisent la réaction de polymérisation. [1]

I.3.3. Les élastomères :

Qui sont déformables de manières réversible.

I.4. Les propriétés des polymères :

Lorsqu'on parle de propriétés d'un matériau, on se refaire à la façon dont il réagit à une sollicitation. On pourrait aussi la nommer une sensibilité à cette dernière, ou bien son inverse, la stabilité et la résistance.

I.4.1. Propriété mécanique :

Les propriétés mécaniques décrivent leur comportement vis-à-vis des sollicitations mécaniques telles que pressions, étirements, torsions, frottements, chocs et effet de la pesanteur. [4]

I.4.2. Transition vitreuse :

Les thermoplastiques et les thermodurcissables sont soumis au phénomène de vitrification. Au dessous de leur température de vitrification, ou transition vitreuse, ils deviennent durs et cassant comme du verre et au dessus, ils sont plus souples. A l'extrême ils deviennent élastiques. [4]

I.4.3. Propriétés optiques :

Les propriétés optiques se présentent sous forme de transparences, translucidité, opacité et coloration. [4]

I.4.4. Propriétés électriques :

Les polymères sont largement utilisés comme isolants électriques, en particulier dans les circuits électroniques et les gaines de câbles électriques. Il existe aussi des polymères conducteurs, soit à l'état intrinsèque soit par ce qu'ils sont chargés de particules de carbone conductrices. [4]

I.4.5. Propriété électro-optiques :

Certaines molécules de polymère, rigides et allongées, sont susceptibles de s'orienter sous l'effet d'un champ électrique. Cet effet est utilisé dans des dispositifs d'affichage comportant des polymères de structures cristal-liquide. Lorsque le champ n'est pas appliqué les molécules sont en désordre local, le matériau est opaque et d'apparence laiteuse. Lorsque le champ est appliqué, les molécules s'orientent dans la même direction que le champ il laisse passer la lumière ca veut dire que le matériau devient transparent. [4]

I.4.6. Propriété de protection physique et chimique :

Ces propriétés englobent des caractéristiques diverses : imperméabilité aux liquides et aux gaz, résistance chimique aux solvants, résistance aux rayons ultraviolets. [4]

I.5. Utilisation des polymères :

Ils ont une large gamme d'utilisation, dans tous les domaines ; dans l'industrie exemple : pièces de structure pour les véhicules, dans les habitations exemple les petits objets usuels, les appareils électroménagers, dans les établissements comme les écoles exemple (Tableau blanc), les hôpitaux exemple (seringue). Aussi, les polymères envahissent le marché de l'emballage des produits alimentaires, d'hygiène, agricole ...

Les caractéristiques chimiques et les différentes propriétés (Physique, mécanique...) de chaque polymère sont les facteurs qui imposent son domaine d'utilisation.

Au niveau de l'unité eau minéral "**Lalla-Khedidja**" la fabrication des bouteilles est basée sur le PET. C'est un polymère possédant plusieurs qualités dont on peut citer : apparence de verre, solidité / résistance au choc, bonne propriétés barrière (CO₂, O₂ et H₂O), Conforme aux exigences alimentaires, - Economique, en plus de tous ça, tenant compte de la tendance actuelle par rapport au recyclage.

Ce dernier (PET) utiliser dans la fabrication de préforme selon un processus d'injection bien spécifiques à Husky Molding Injection.

I.6. Le polyéthylène téréphtalate (PET):

Le polyéthylène téréphtalate est un plastique. Chimiquement, c'est le polymère obtenu par la polycondensation de l'acide téréphtalate et de l'éthylène glycol. Pour simplifier, on peut décrire le PET comme un pétrole affiné. L'éthylène glycol et les connexions téréphtalate sont exploités du pétrole qui a été partiellement transformé avec l'oxygène, pour la fabrication de PET, ces connexions sont liées à de longues chaînes de molécules. Chimiquement exprimé : l'éthylène glycol et les connexions téréphtalate sont reliés par polycondensation. Pour cela, les molécules initiales constituées de petites chaînes, elles mêmes sont composées exclusivement des éléments hydrogènes, carbone et oxygène, sont attachées par ce que l'on appelle des liaisons d'ester. Le polyester doit aussi son nom à cette construction «Poly» (Beaucoup) + «Ester» (le type de liaison). par la prolongation des chaînes, le matériau devient de plus en plus visqueux, jusqu'à ce qu'on obtienne à la fin de polycondensation la consistance souhaitée. En suite, cette coulée chaude de 250°C est pressée par des buses dans des barres minces en suite refroidie et coupée dans de petits morceaux de granulat du polyester par extrusion et réticulation sous tension, on obtient du polyester amorphe un film aux propriétés bixiales semi cristallines. Ce film de très grande solidité en tension, très stable qui est transparent, très bon isolant électrique est connu sous les marques Mylar et Melinex.

En d'autre terme, le polyéthylène téréphtalate (PET) est : linéaire, thermoplastique, amorphe ou cristallin, homo ou copolymère. [3]

-Linéaire :

Le PET à une structure interne homogène orienté dans le même sens.

-Thermoplastique :

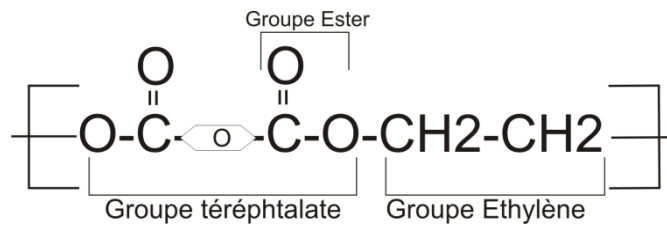
Qui deviennent malléables quand ils sont chauffés, se qui permet leur mise en œuvre.

-Amorphe ou cristallin :

Une bonne propriété barrière (CO₂, O₂, H₂O).

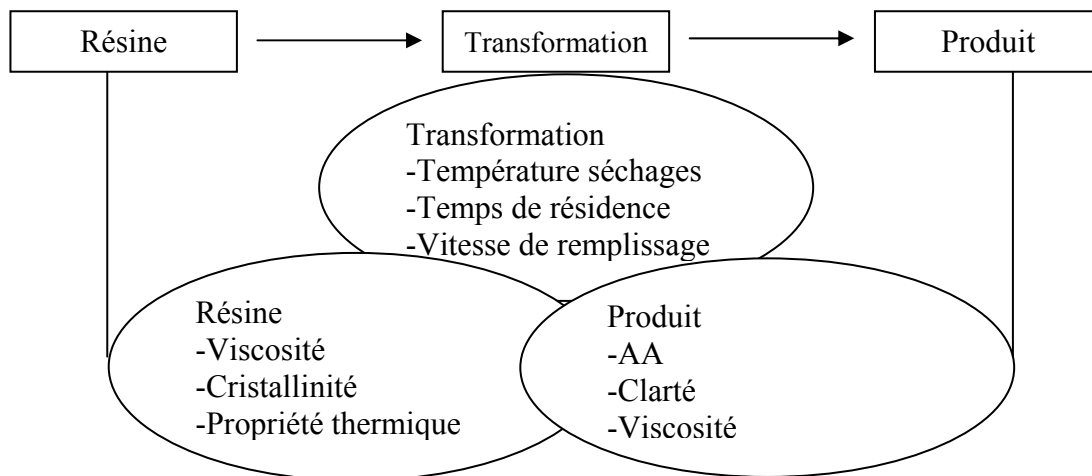
-Homo ou copolymère :

Les polymères peuvent être fabriqué à partir d'un seul type de monomères (On parle alors d'homo polymères). Ou bien à partir de plusieurs types de monomères (On parle alors de copolymères).



Le polyéthylène téréphtalate $[O-(CH_2)_2-O-CO-pPH-CO]_N$ (Molécule de base). [3]

I.6.1. Interaction entre la résine, la transformation et la qualité du produit :



I.6.2. Synthèse de la résine PET :

Les composants du PET :

-Les composants Diacide :

L'acide téréphtalique (TPA) ou le diméthyle / téréphtalate (DMT).

-Les composants Diol :

(EG) l'éthylène glycol.

* Les acides et les Diol sont tous les deux issues du pétrole.

-Le di éthylène glycol (DEG)

-Le groupe vinil-ester (VEG)

I.6.3. La composition du PET :

a) **Composition du PET homo polymère :** 1 Diacide (TPA / DMT) +1 Diol (EG)

Note : Le PET n'est jamais un vrais homo polymère, une faible quantité de DEG reste toujours présente.

- b) **Compositions du PET copolymère :**
- | | | |
|---------------------------|---|-------------------------|
| <u>1Diacide</u> | + | <u>2 Types de Diols</u> |
| (TPA ou DMT) | | (EG et CHDM ou DEG) |
| <u>2 Types de diacide</u> | + | <u>1 Diols</u> |
| (TPA et IPA) | | (EG) |

I.6.4. Fabrication du PET :

a) Estérification :

Formation des monomères.

* **Etape 1** (estérification) : estérification directe (utilisation du TPA) : transe-estérification (utilisation du DMT).

b) Polycondensation :

Assemblage des monomères en phase visqueuse, environ 100 unités.

* **Etape 2** (polycondensation ou polymérisation), PET monomère \rightleftharpoons PET + EG [la polycondensation et poursuivie jusqu'à l'obtention d'une viscosité $\sim 0,6$ (environ 100 unités)]

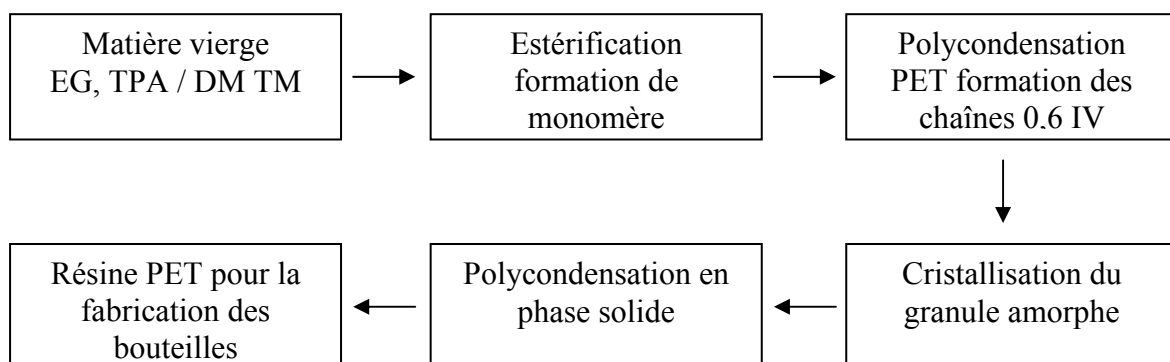
- La solution devenant visqueuse, l'extraction d'EG est rendue difficile.
- La température étant importante, la génération d'AA augmente (similairement au processus d'injection).
- Le PET visqueux est extrudé, refroidi et coupé pour donner des granulés de PET amorphe.

c) Enoncé de solide :

Continuation de la polycondensation en phase solide (augmentation de 100 à 140 unités environ)

* **Etape 3** (polycondensation en phase solide) –énoncé de solide est généralement faite entre 180°C et 240°C pendant 6 à 8 heures.

La fabrication du PET peut être représentée par l'organigramme suivant :



I.6.5. Réaction parallèles intervenant pendant la fabrication de PET :

Beaucoup de réaction parallèle ont lieu lors de la fabrication du PET, les principales sont :

a) La formation d'éthylène glycol :

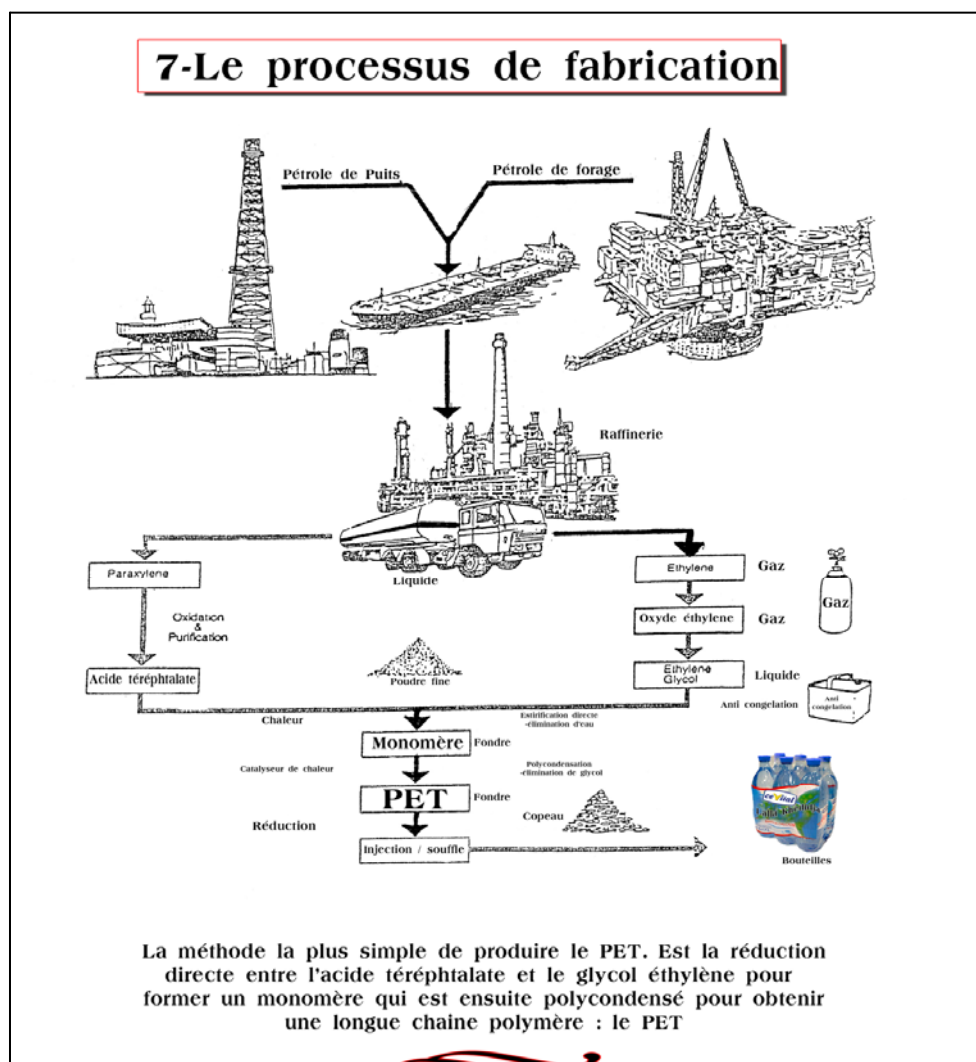
Pendant la phase d'estérification le DEG est incorporé dans la chaîne polymère. Environ 1,5 % du poids reste dans le PET.

b) La formation du groupe vinil ester :

Les groupes vinil ester (VEG) conduisent à la formation d'AA.

c) La formation du groupe oligomère cyclique :

Un groupe oligomère est une petite chaîne composée de 2 ou 3 molécules identiques ; formation annulaire (oligomère – compound de faible poids moléculaire) créés pendant la polycondensation (les oligomères à 3 éléments sont les plus répandus, la quantité d'oligomère est relative à la quantité de poussière de PET présentes dans la résine et au point de transition vitreuse de PET).



I.6.6. Utilisation courante du PET:

- Bouteilles.
- Rembourrage de peluches, de coussins.
- Fibre textile pour la confection de vêtements (notamment à la base de pet recyclé).
- Emballage résistant au four.
- Revêtement ajouté sur le papier aluminium pour éviter le contact avec les aliments.
- Métalliser lunette d'observation des éclipses de soleil.
- Films transparents à bas coût pour les applications d'optique (écran LCD, instruments).
- Emballage jetable de toute sorte (boîtes pour salade, plateau de présentation, etc....)
- Plastie ligamentaire et chirurgie reconstructrice.

I.6.7. Définition des principaux termes utilisés pour le traitement du PET :

- **Densité** : Se distingue en deux parties :

-**Densité absolue** : c'est la densité du produit en condition maximal de cristallisation, exemple : 1,4 g / cm³.

-**Densité volumique** : c'est la densité du produit sous forme de grains non comprimé, exemple : 0,9 Kg/dm³.

- **Point de fusion:**

C'est la température de fusion des cristallites qui varie entre 250 et 260°C selon les résines.

- **Viscosité intrinsèque :**

C'est un procédé pour la caractérisation de la longueur moyenne des macromolécules du PET. La viscosité intrinsèque (IV) est une mesure de la longueur des chaînes ou encore du poids moléculaire.

- **Le point de rosée :**

Le point de rosée ou température de rosée est une donnée thermodynamique, calculée à partir de la : pression et de la température.

Le point de rosée de l'air et de la température à laquelle, tout en gardant inchangées les conditions barométriques l'air devaient saturer en vapeur d'eau.

On peut la définir comme température à laquelle la pression de vapeur égale à la pression de vapeur saturer.

$$T_d = \frac{b\alpha(T, RH)}{a - \alpha(T, RH)} \quad [\text{Magnus-Teteus}]$$

$$\alpha(T, RH) = \frac{aT}{b+T} + L_n RH \quad \{a=17,27^\circ\text{C} \quad b=237,7^\circ\text{C}\}$$

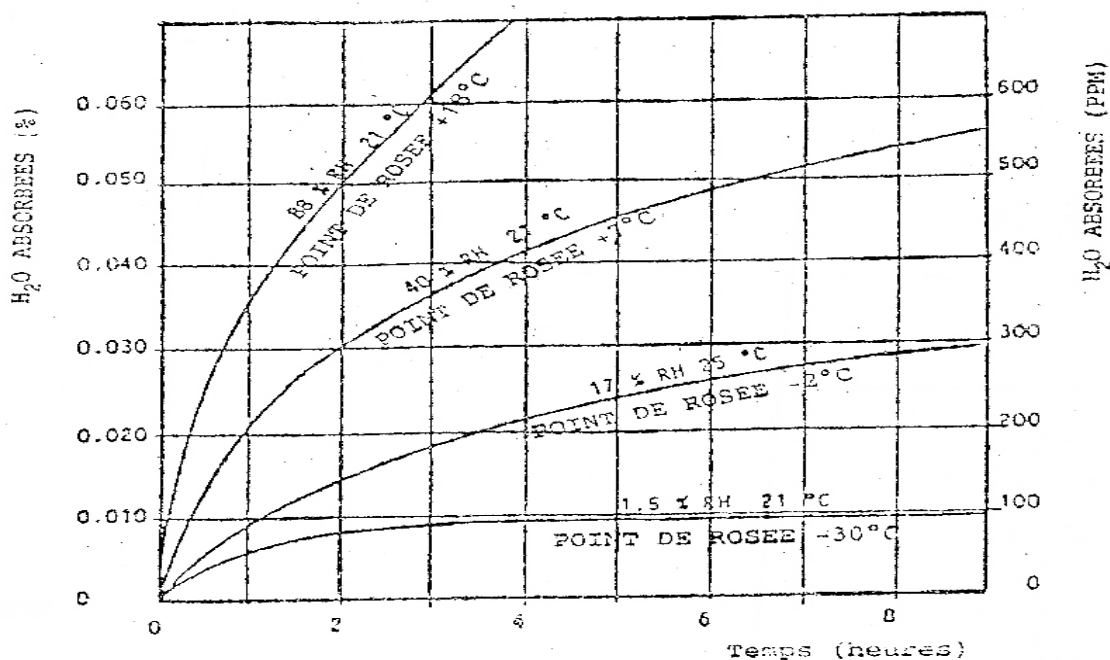
• **Acétaldéhyde (AA) :**

C'est un gaz à l'odeur fruitée typique qui apparaît à une température supérieur à 21°C. Il apparaît en petite quantité durant la fabrication du PET et aussi dans l'injection.

On dit que l'AA modifie le goût des boissons quand elle est présente même en faible concentration, par conséquent il est important de garder une génération d'AA aussi faible que possible.

I.6.8. Absorption d'humidité par le PET :

Le PET sous forme solide absorbe l'humidité de l'atmosphère (c'est un déshydratant). Pendant le stockage, l'humidité sera absorbée jusqu'à ce que la valeur de l'équilibre (appropriée aux conditions de stockage) soit atteinte. Cette valeur peut atteindre environ 0,6% du poids. Quand le PET sort de chez le fournisseur de l'usine, le taux < 0,1% du poids.



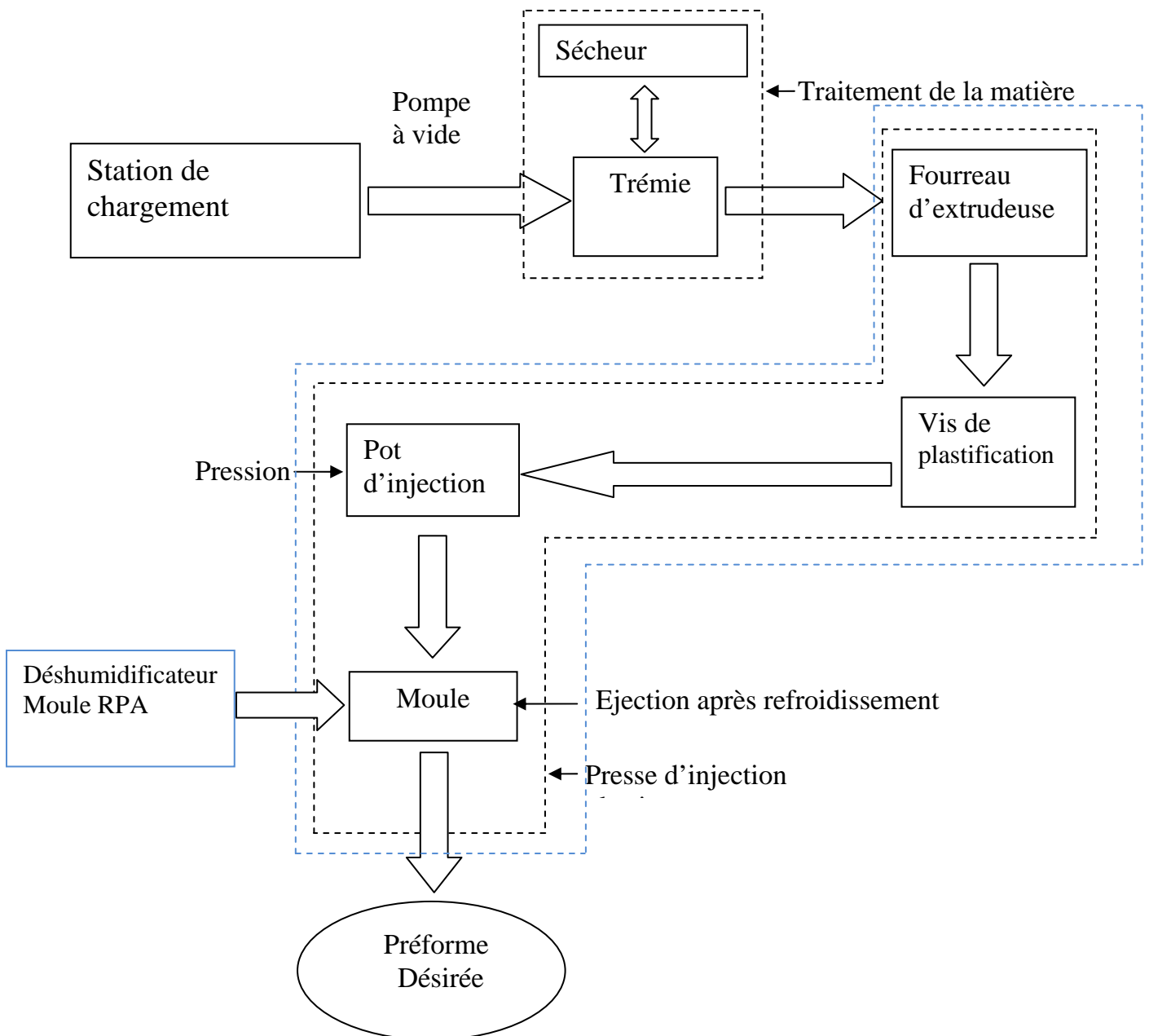
ABSORPTION D'HUMIDITE DES GRANULES DE PET A DIFFERENTES CONDITIONS ATMOSPHERIQUES

II.1. Introduction :

La technique du moulage par injection est une méthode de mise en œuvre des matières thermoplastiques pour la fabrication d'objets tridimensionnels creux.

Le moulage par injection consiste à fluidifier le polymère (en granulés) dans un pot de presse cylindrique, puis à l'envoyer, à l'aide d'un piston, dans un moule froid, placé contre la buse fixée sur la sortie du pot de presse.

Pour aboutir aux préformes dont le PET est la matière première, une transformation lui est nécessaire. Cette dernière est comme suit :



Processus de traitement et d'injection plastique

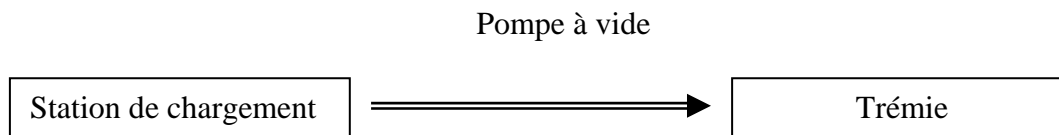
II.2. Traitement du PET :

Le polyéthylène téréphtalate (PET) est une matière organique déshydratante. La présence d'humidité est nuisible au cours de la transformation (fabrication), pour cela un séchage lui est indispensable.

Cette opération qui en boucle fermée est assurée par un déshumidificateur ou sécheur qui est un générateur d'air sec.

II.2.1. Description du processus :

a) Traitement de la matière :



Une fois que le remplissage de la trémie est fait au 2/3 de son volume à l'aide d'une pompe à vide qui aspire la matière première (PET) de la station de chargement vers la trémie qui a une forme cylindrique pour un chauffage homogène via le sécheur pendant un temps bien déterminé à différente température.

Pour une matière fraîche	Pour une matière déjà séchée
60 mn à 100°C	60 mn à 100°C
240 mn à 140°C	120 mn à 140°C
240 mn à 180°C	120 mn à 180°C

Les temps doivent être respectés pour sauvegarder les caractéristiques intrinsèques de la matière.

b) Le séchage :

Dans le sécheur de PET l'air est d'abord déshumidifié par une matière déshydratante (la silice), ensuite l'air séché et chauffé est envoyé dans la trémie. L'air est ensuite reconditionné (via le dé-sécheur) pour un cycle en boucle fermée. Quand elle est trop chaude, la matière desséchante dégage de l'humidité, quand elle est froide elle absorbe l'humidité.

C'est pourquoi, il est nécessaire de disposer au minimum de deux trajets d'air séparés, et de deux cartouches de matière desséchante. Dans ce système en boucle fermée, la trémie doit être raccordée à l'extrudeuse avec un flexible thermorésistant de diamètre adéquat et de longueur la plus petite possible afin de ne pas perdre l'énergie thermique.

La trémie idéale est cylindrique avec un rapport hauteur / diamètre d'environ de 2-1, et est isolée pour conservé l'énergie. L'air chaud déshumidifié circule dans la trémie ou une chambre et un diffuseur de chaleur empêche la circulation de grains et du courant d'air ensemble.

La trémie est fermée, elle a un trajet de retour vers le sécheur. Un filtre sur la boucle de retour protège les couches desséchantes de la contamination. Le ventilateur pulse l'air dans des couche desséchante, puis dans la chambre chauffante et finalement à l'entrée de la trémie.

Simultanément, un souffleur séparé et un chauffage à haute température, réactivent l'autre cartouche desséchante, quand le dé-sécheur est réactivé et refroidi, il est ramené dans le système de séchage pour sécher l'air du traitement. La couche desséchante enlevée du trajet et ensuite réactivée et le cycle continu.

II.2.2. Le déshumidificateur (Sécheur matière) DP 630:

A) Description :

Le déshumidificateur est un générateur d'air sec pour la déshumidification de granule plastique PET.

B) Fonctionnement :

a) Dans la machine se trouve deux tours, (L tour gauche, R tour droite) qui contiennent en leur enceintes des tamis moléculaires (éléments étant capables d'absorber de grande quantité d'humidité).

b) Les deux tours effectuent alternativement un cycle de processus (Ou cycle de déshumidification) et un cycle de régénération (Pendant qu'une tour exécute le cycle de processus, l'autre tour effectue le cycle de régénération).

c) Au cours du cycle de processus les soufflantes de déshumidificateurs envoient l'air provenant de la trémie à la tour en processus. Ici l'air est privé de l'humidité par les tamis moléculaire et donc de nouveau envoyé dans la trémie ou elle pourra éliminer d'autres humidités du granule plastique avant d'être de nouveau dans le cycle.

d) Régénération : le cycle de régénération est nécessaire pour éliminer l'humidité accumulée par la tour qui viens de terminer un cycle de processus (de façon à la préparer au cycle suivant), ce cycle est divisé en deux phases :

1. Phase de réchauffement :

Pendant cette phase la tour de régénération est traversée par un écoulement d'air ambiant réchauffé qui lui permet de dégager l'humidité accumulée.

2. Phase de refroidissement :

Pendant cette phase, la tour de régénération est traversée par un écoulement d'air froid qui porte les tamis moléculaire à la température optimal pour un cycle de processus nouveau.

e) A la fin du cycle de régénération, quand la tour en régénération est prête pour un cycle de processus nouveau, l'échange des tours a lieu, la tour qui été entrain d'exécuter le cycle du processus effectue maintenant le cycle de régénération et vis versa.

• Température du processus :

Il s'agit de la température à laquelle l'air est envoyé dans la trémie.

• Température de sécurité processus :

Il s'agit de la température maximale à laquelle l'air peut être envoyé dans la trémie pour que les matériaux ne subissent pas une dégradation ; cette température est à établir selon le type de granule plastique utilisé. Et si elle dépasse la température de sécurité processus, elle s'arrête et une alarme est signalée.

II.3. Moulage du PET par injection :

Après avoir été déshumidifié, le PET passe à la deuxième étape de sa transformation qui est la plastification. Pendant ce processus le PET fond, devient visqueux et prend la forme d'une coulée chaude de 270C° à 290C°. Cette coulée est transférée au pot d'injection ; une fois la quantité voulue est disponible l'injection est assurée par le piston d'injection dans un moule pour l'obtention des préformes à la sortie de la machine.

La machine qui assure cette opération est la machine de moulage par injection (Hypet 400). Elle est divisée en deux unités : une unité d'injection à deux étages(1) et une autre de serrage hydromécanique(2) voir la figure 1.

II.3.1. Description fonctionnelle de la machine :

Les pastilles de matières de transformation (3) sont chargées dans un fourreau d'extrudeuse chauffé (4) dans l'unité d'injection ou une vis de plastification hydraulique (5) tourne est les transforme en une masse fondue. Lorsqu'une quantité de matière est plastifiée, la vis transfère la masse dans le pot d'injection (11) et continue de plastifier de nouvelles pastilles.

Une moitié du moule est fixé sur le plateau fixe (6) et la deuxième moitié est fixée sur le plateau mobile (7).

Le plateau fixe est accroché au bâti (8) et le plateau mobile est fixé à l'unité de serrage. L'unité de serrage ferme la moitié du moule (9) pour créer une empreinte dans laquelle la matière fondue est injectée, une force de fermeture supplémentaire et ensuite appliquée qu'on appelle le verrouillage pour empêcher les deux moitiés du moule de se séparer pendant la phase d'injection et ce suite à l'immensité de la force d'injection.

Le piston d'injection injecte une quantité prédéterminé de matière à très haute pression dans l'empreinte du moule. Ainsi la matière fondue remplit l'empreinte et se compresse.

Maintenant la pression est maintenue jusqu'au refroidissement de la pièce moulée.

La pression est ensuite supprimée et la vis de plastification transfère à nouveau de la matière fondue au pot d'injection pour l'injection suivante ; simultanément, la force de fermeture est supprimée sur les deux plateaux et les deux moitiés du moule commencent à se séparer alors qu'un éjecteur (10) pousse la pièce moulée hors du moule. Il s'agit d'un fonctionnement simultané.

II.3.2. La vis de plastification :

A. Fonctions de la vis :

C'est le ramoulage de la matière ; la vis de plastification tourne est transforme la matière première en une masse fondue, en suite la vis transfert la masse dans le pot d'injection et continue à plastifier des nouvelles quantités.

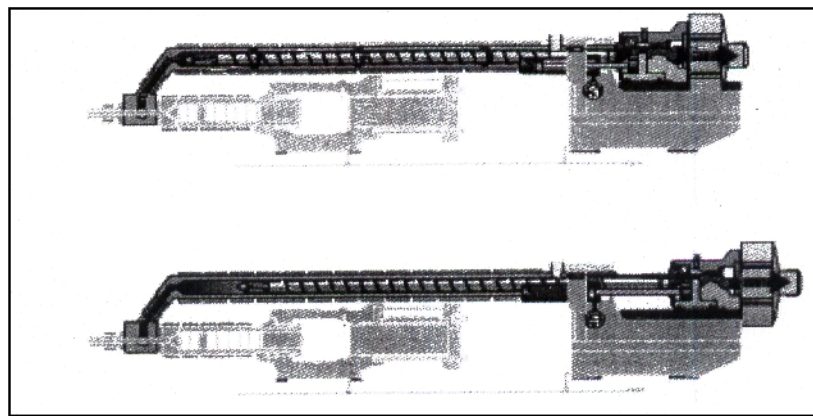


Figure I.1 vis de plastification [2]

La vis comprend quatre zones :

✓ **Zone(1) l'alimentation :**

C'est le transport de la matière vers la zone (2).

✓ **Zone(2) la plastification :**

Faire fondre la matière.

✓ **Zone(3) le mixage :**

Mixer la coulée pour éliminer les infondus.

✓ **Zone(4) le transport de la matière plastifiée :**

Transporter de la matière plastifiée de la goulotte vers le pot d'injection.

Les différentes zones :

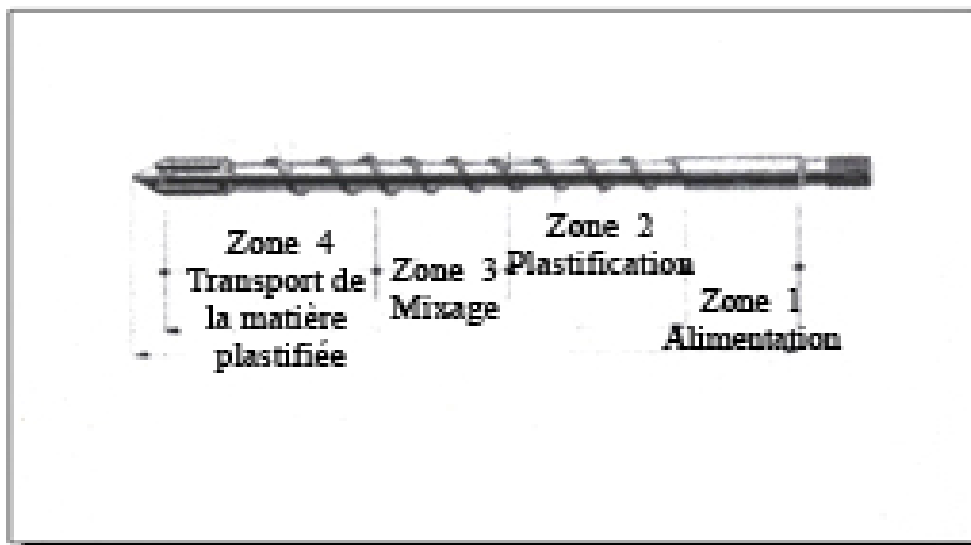


Figure I.2 différentes zones de la vis de plastification [2]

Remarque :

La différence entre une zone et une autre est : le pas et la température selon la fonction de chaque zone.

II.3.3. Le moule :

Le moule est un ensemble mécanique de très grande précision qui permet de fabriquer des milliers de pièces en injectant de la matière plastique ou du métal en fusion dans des empreintes prévues à cet effet, il est utilisé sur une machine appelée presse à injecter.

Le moule est composé de deux parties principales, Une partie fixe pour l'injection de la matière dite aussi canal chaud et ce pour le fait qu'il présente des résistances chauffantes sur les canaux de distribution et une partie mobile dite aussi canal froid ; à la fermeture du moule la surface du contact entre ces deux parties est appelée plans de joint.

C'est au niveau de ce plan de joint que la pièce devra se démouler ; la difficulté est de définir physiquement sa position.

Pour ne pas laisser de traces sur la pièce moulée, les deux parties doivent s'emboîter parfaitement pour établir l'étanchéité lorsque le moule fermé est sous la pression ; Il n'est pas toujours plan et il peut avoir des formes complexes.

Plusieurs dispositifs du moule sont dignes de mention spéciale :

- a) **Le seuil** : Petit orifice reliant le canal à la cavité qui habituellement se solidifie en premier.
- b) **Le canal** : C'est le chemin d'écoulement suivi de polymère fondu.
- c) **Buse d'injection** : Est le canal à travers lequel le polymère fondu entre dans le moule.
- d) **Evacuation de l'air de l'empreinte** : Quand le fondu est injecté, l'air doit s'échapper du moule par les événements.
- e) **Transfère de la chaleur** : Le taux auquel la pièce se refroidit a un effet considérable sur la durée du cycle.

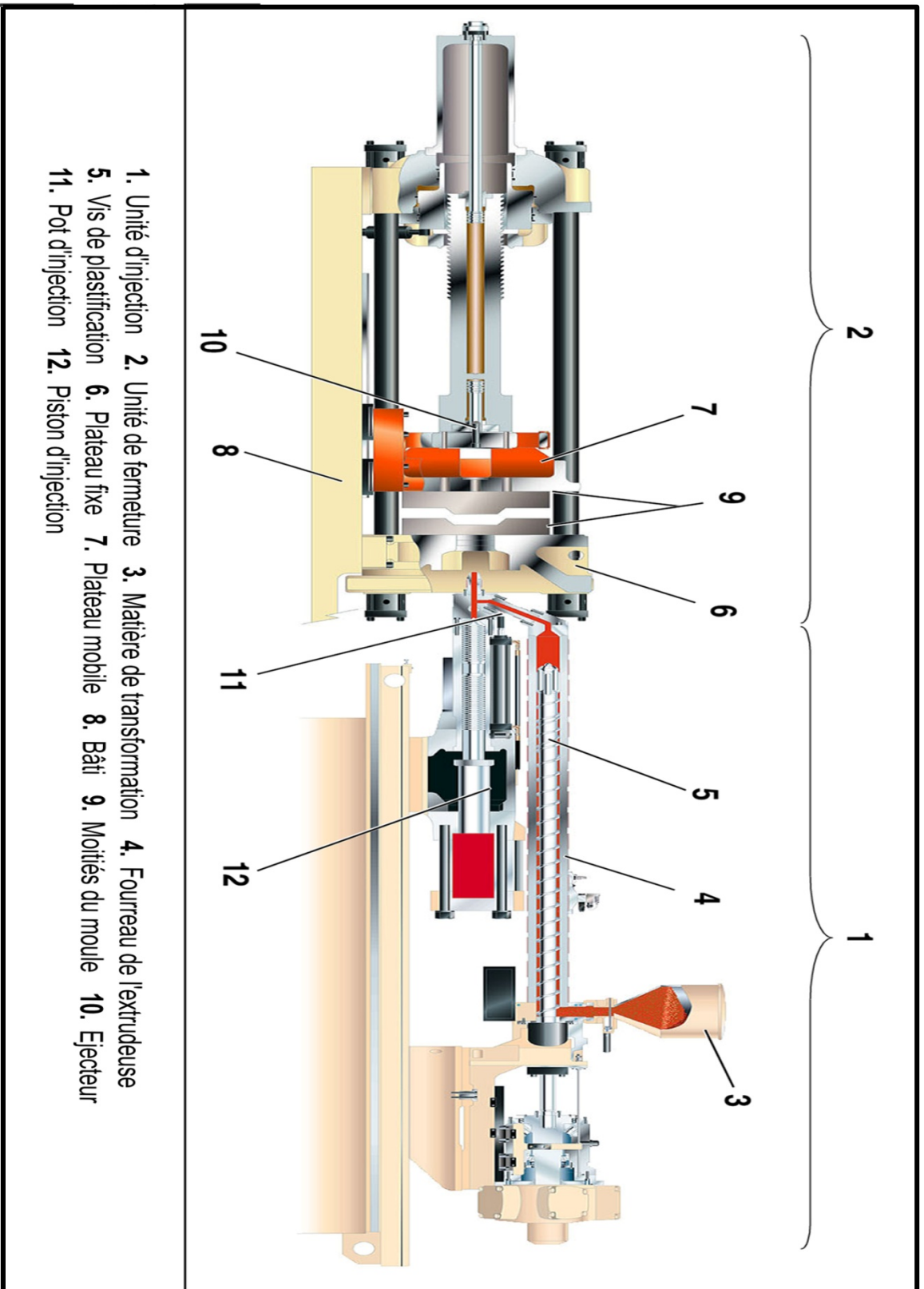
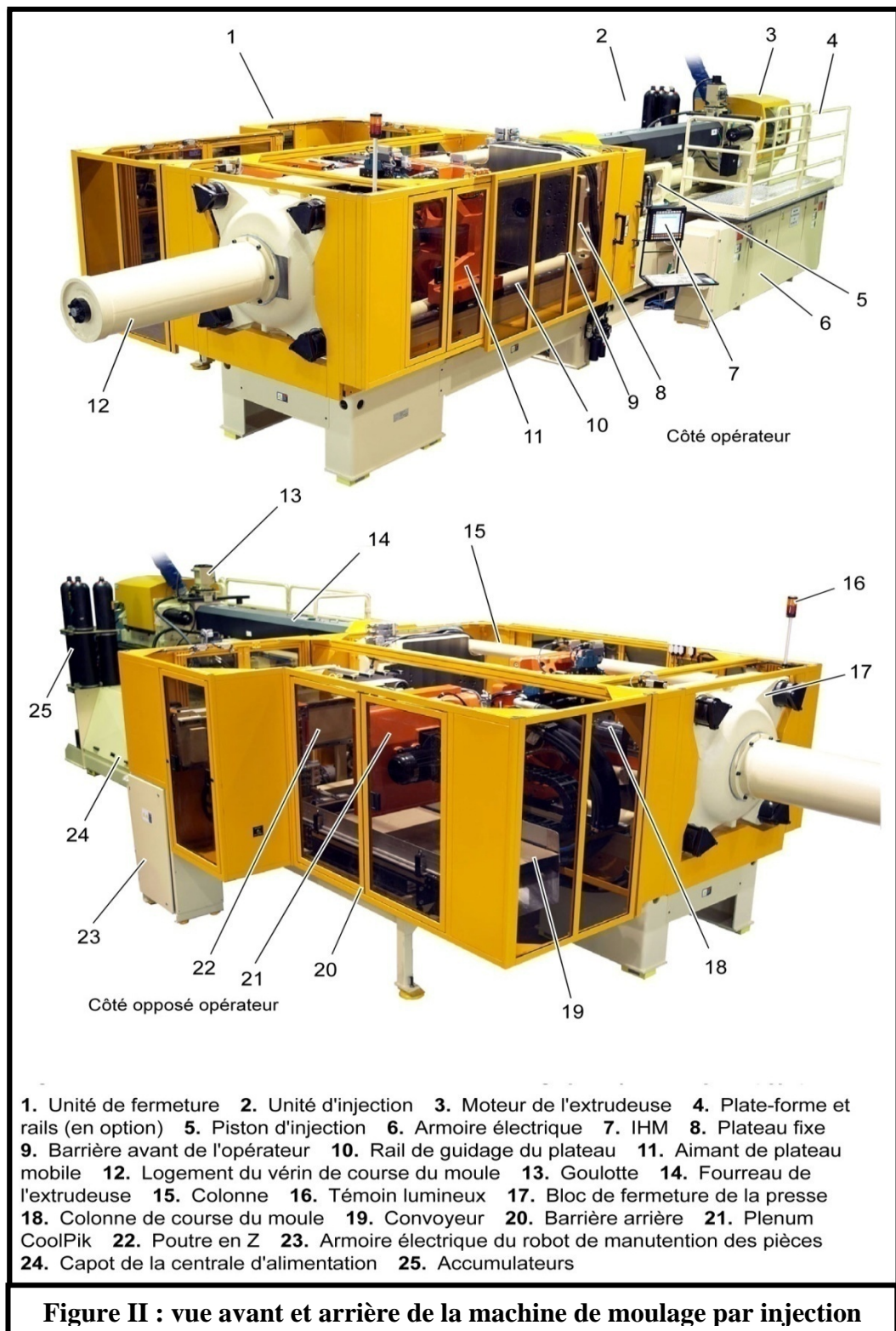
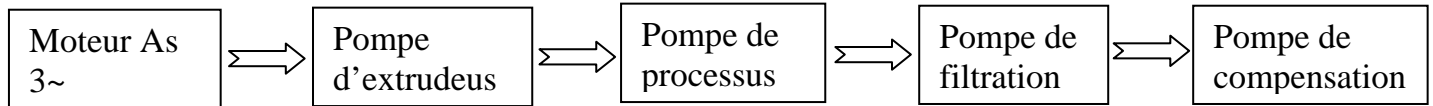


Figure 1 La machine de moulage par injection



Le bon fonctionnement de la machine (Presse d'injection + les différentes utilitaires) est assuré par des pompes entraîné par un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil avec une puissance assez remarquable (260 KW).



II.3.4. Le déshumidificateur moule (RPA1800) :

A) Description :

Le déshumidificateur (RPA) est un générateur d'air sec pour le conditionnement du milieu. La machine à pour fonction d'exciter la condensation d'humidité. Pour le bon fonctionnement des déshumidificateurs, les enceintes à conditionner doivent être convenablement fermées de façon à protéger au moins contre la contamination par l'air externe. D'habitude le déshumidificateur (RPA) est appliqué à une cabine étanche qui renferme la presse du moulage. Pour cette raison, l'emploi du déshumidificateur doit être défini en fonction des conditions ambiantes (température et humidité) et aussi des caractéristiques du milieu à traiter (volume degrés d'étanchéité, température des surfaces froides etc....)

B) Fonctionnement :

Le déshumidificateur RPA fonctionne selon le principe de l'absorption de l'humidité par un rotor imprégné avec du gel de silice.

Le cycle de fonctionnement de la machine est le suivant :

1-L'air de processus, mis en circulation par des ventilateurs M41 et M42, est dépuré par un filtre amovible F2 avec degré de filtration de 85% (en circuit ouvert, il y a aussi un près filtre F1 pour assurer d'avantage sa pureté.)

2-L'air traverse ensuite une batterie à ailettes de refroidissement pour obtenir une première diminution du contenu d'humidité. Pour assurer une bonne efficacité dans la première phase de déshumidification, il est nécessaire de respecter les caractéristiques techniques fournies pour l'eau de refroidissement ; (tableau n° :1).

3- Une fois refroidit, l'air est envoyé au rotor sécheur RS ou il y a lieu la phase finale de la déshumidification. Pendant le passage au rotor, l'air subit un réchauffement.

4- Sorti du rotor, l'air est envoyé à l'enceinte à conditionner et son débit est réglé par une valve placée en sortie de la machine.

5-L'air de régénération est prélevé de l'enceinte à travers un filtre de cartouche F3 de grande capacité et envoyé, par le ventilateur M43, à la chambre de chauffage EH41 où il est réchauffé jusqu'à la température optimale pour le cycle de régénération. La structure de la machine est conçue pour réduire au minimum les dispersions thermiques et avoir donc un rendement élevé de l'appareillage. Une fois réchauffé, l'air de régénération traverse le rotor en contre courant pour assurer les meilleures conditions.

6- Après l'extraction de l'humidité de la section en régénération, l'air est expulsé à l'extérieur à travers une conduite appropriée d'échappement préparée pour cet effet.

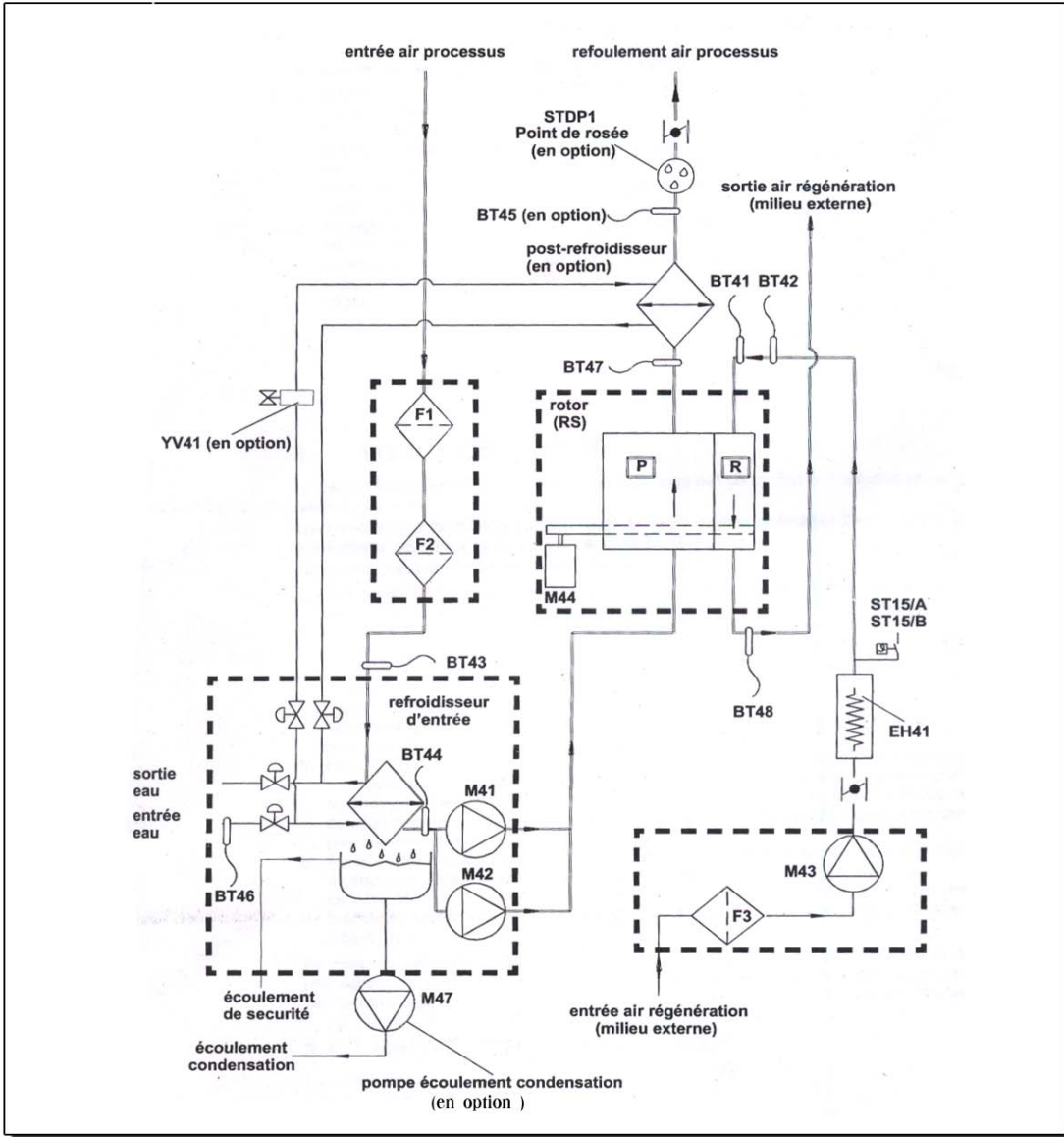
7- Le débit de l'air de régénération est réglé pendant la phase de fabrication de la machine de façon à garantir les meilleures conditions de travail. De toute façon, on a la possibilité de régler le débit en fonction du type d'installation.

Ce processus de déshumidification est continu, par conséquent, tendit que une partie du rotor en phase de processus, une autre partie et en phase de régénération, avec expulsion de l'humidité accumulée. Les caractéristiques de l'air déshumidifié restent donc constantes dans le temps grâce au processus de déshumidification continu.

Concentration maximale sels liquide refroidissement	
Sulfates	50 mg/l
Nitrates	100 mg/l
Sulfures	1000 mg/l
Chlorures	1000 mg/l
Ammonium	2 mg/l
Anhydride carboniques libre	5 mg/l
Oxygène	8 mg/l
Fer / manganèse	1 mg/l
Chlore libre	5 mg/l

Tableau II.1 Les caractéristiques techniques fournies pour l'eau de refroidissement

Schema du flux général



II.3.5. Fonctionnement du soft-drop (machine de mise en box des préformes) :

Après la mise sous tension du soft-drop et initialisation de toutes les alarmes, ainsi que la réunion de toutes les conditions de fonctionnement à savoir, la présence de box à l'intérieur de la machine, la contenance en préformes prédéterminée et la fermeture des portières de sécurité.

Après avoir démarré la presse en mode production c'est-à-dire, en mode automatique, on démarre le soft-drop en automatique (start sur le pupitre de commande).

Le démarrage du soft drop en mode automatique, induit le démarrage du moteur convoyeur vertical en permanence et le moteur convoyeur horizontal dans le sens choisi.

Après une temporisation T, le moteur convoyeur horizontal s'arrête pour donner le temps à la nacelle de descendre vers le box pour décharger les préformes, et si :

- Le box est vide, la nacelle descend jusqu'en bas du box, les vérins gauche et droit s'ouvrent simultanément.
- En présence de préformes dans le box, si le niveau gauche est supérieur au niveau droit, la nacelle s'ouvre vers la droite, si non, elle s'ouvre vers la gauche. Puis elle remonte en haut, et le cycle recommence.

Après avoir atteint la consigne (le nombre de préformes dans le box), la machine bascule dans l'autre sens et le cycle recommence comme précédemment.

Pour le fonctionnement manuel, on arrête le cycle automatique, puis on appui sur le pupitre de commande pour démarrer le cycle manuel. La machine fonctionne sans déplacement de la nacelle vers le bas. Les vérins gauche et droit s'ouvrent et se ferment simultanément.

Des que la consigne est atteinte, la machine bascule vers l'autre sens et le cycle recommence.

Travail demandé au chapitre III :

- Motorisation de l'entrée et sortie du box à l'intérieur de la machine soft-drop.
- Ventilation des chambres des box afin de les garder sous pression, et ce, pour éliminer toute contamination du produit en poussières.
- Automatisation de fermeture et d'ouverture des portières de protection.

I.1.Introduction :

Les réseaux électriques industriels sont le prolongement naturel du réseau du distributeur auquel ils se raccordent, pour assurer l'alimentation en énergie électrique des sites industriels.

Les moyens utilisés pour chaque processus de fabrication, principalement des machines et des équipements, assurent en permanence les fonctions particulières de chaque séquence du processus. L'idéal serait que son déroulement ne soit jamais perturbé par son alimentation électrique ; en effet, une perturbation de la production est souvent générée par une interruption de l'alimentation électrique, due le plus souvent à des défauts aussi bien internes qu'externes, car il n'est pratiquement pas possible d'obtenir pour un réseau électrique le niveau de zéro défaut.

Pour bien cerner les conséquences économiques, entraînées par cette interruption (avaries de machine, pertes de produit, etc.) qui sont le souci majeur des industriels, il est indispensable d'appliquer, lors de la conception du réseau interne, des procédures rigoureuses d'ingénierie adaptées à chaque site, en fonction de la nature de l'industrie et de ses dimensions.

I.2.Bilan de puissance :

Le bilan de puissance sert à déterminer les caractéristiques du ou des transformateurs capables d'alimenter une zone, tout en tenant compte d'une augmentation futur de demande d'énergie qui est de 30% de l'énergie consommée.

Pour l'installation basse tension, le bilan de puissance est la base de tout projet. Cet examen des puissances mises en jeu doit permettre :

- ✓ L'évaluation des puissances à souscrire ; ce qui permet d'établir le contrat de fourniture d'énergie.
- ✓ De déterminer la puissance qui transite au niveau de chaque tableau de distribution.
- ✓ D'évaluer la puissance du transformateur MT/BT.

I.2.A. Définition des différentes puissances :

a) Puissance installée

C'est la somme de toutes les puissances nominales, des différents récepteurs, y compris l'éclairage, en tenant compte de leur rendement et de leur facteur de puissance.

Cette puissance est supérieure à celle réellement consommée pour les raisons suivantes :

- ✓ Les récepteurs ne fonctionnent pas à pleine charge.
- ✓ Les récepteurs ne fonctionnent pas simultanément.

b) *Puissance consommée (absorbée)*

Elle est définie comme étant la puissance absorbée par les différents éléments de l'installation électrique .Elle dépend :

- ✓ Du type de fonctionnement de chaque récepteur pris individuellement.
- ✓ De tous les récepteurs pris ensemble.

Pour tenir compte de ces deux conditions, il est défini deux facteurs K_u et K_s .

b₁. Facteur d'utilisation(K_u)

C'est le rapport de la puissance réellement absorbée par un appareil, à sa puissance nominale. Ce coefficient tient compte du fait que les récepteurs ne fonctionnent pas à leur régime nominale, d'où la notion du facteur d'utilisation nominale.

Type d'utilisation	Grands moteurs	Moteurs moyens	Petits moteurs	Eclairage Chauffage	Machine outils	Prise : -Bureau -Atelier
K_u maximal	1	0.75	0.6	1	0.8	0.5 0.8

Tableau 2.1.1 facteur d'utilisation K_u en fonction du type de récepteur [5]

b₂.Facteur de simultanéité (K_s)

Le facteur K_s d'un groupe de récepteurs, est le rapport entre la somme des puissances nominales des appareils susceptibles de fonctionner simultanément à la somme des puissances nominales de tous les appareils alimentés par le même circuit.

K_s = nombre de récepteurs en service/nombre de récepteurs installés

On distingue trois coefficients de simultanéité :

- K_{s_f} : dépend du nombre d'abonnés (tableau 2.1.2)
- K_{s_a} : dépend du type de récepteurs (tableau2.1.3)
- K_{s_c} : dépend du nombre de circuits (tableau2.1.4)

Nombre d'abonnés	2-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-49	50 et plus
K_{s_r}	1	0.78	0.63	0.53	0.49	0.46	0.44	0.42	0.41	0.40

Tableau 2.1.2 facteur de simultanéité K_{s_r} en fonction du nombre d'abonnés [5]

Type de récepteurs	K_{s_a}
Appareil de cuisson	0.7
Chauffage d'eau	1
Chauffage électrique	1
Conditionnement d'air	1
Eclairage	1
Prise de courant (N : nombre de prise)	$0.1+0.9/N$
Moteur le plus puissant $P > 75 \text{ KW}$	1
Moteur de puissance $5.5\text{KW} \leq P \leq 75\text{KW}$	0.75
Petit moteur $P \leq 5.5\text{KW}$	0.6

Tableau 2.1.3 facteur de simultanéité K_{s_a} en fonction des récepteurs [5]

Nombre de circuits	2-3	4-5	6-9	10 et plus
K_{s_c}	0.9	0.8	0.7	0.6

Tableau 2.1.4 facteur de simultanéité K_{s_c} en fonction du nombre de circuits [5]

I.2.B. Description de l'atelier plastique :

Notre objectif consiste à dimensionner un transformateur pour l'atelier plastique de l'usine, et de calculer les sections des canalisations et les protections à partir des charges existantes en tenant compte de la compensation d'énergie réactive ($\cos\varphi=0,9$).

Pour cela on a reparti l'atelier plastique en trois parties principales :

-Partie N°1 : qui comporte la presse d'injection plastique N° 1 et ses accessoires :

- ✓ Sécheur matière.
- ✓ Sécheur moule.
- ✓ Chauffe moule.
- ✓ Deux pompes process.
- ✓ Convoyeur Soft-drop.
- ✓ Doseur

-Partie N°2 : qui comporte la presse d'injection plastique N° 2 et ses accessoires :

- ✓ Sécheur matière.
- ✓ Sécheur moule.
- ✓ Chauffe moule.
- ✓ Deux pompes process.
- ✓ Convoyeur Soft-drop.
- ✓ Doseur

-Partie N°3 : qui comporte le groupe de froid, l'éclairage et les prises de courants

- ✓ Refroidisseur (Chiller) N° 1
- ✓ Refroidisseur (Chiller) N° 2
- ✓ Trois pompes de distribution
- ✓ Deux pompes d'alimentation
- ✓ Compresseur (ATLAS COPCO)
- ✓ Sécheur d'air
- ✓ Eclairage
- ✓ Prises de courant

I.3. Compensation de la l'énergie réactive :

L'énergie électrique est essentiellement distribuée aux utilisateurs sous forme de courant alternatif par des réseaux en haute, moyenne et basse tension.

L'énergie consommée est composée d'une partie "active", transformée en chaleur ou mouvement, et d'une partie "réactive" transformée par les actionneurs électriques pour créer leurs propres champs électromagnétiques.

L'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie "active" ; la partie "réactive" ne peut pas être éliminée, mais doit être compensée par des dispositifs appropriés. L'énergie totale soutirée au réseau de distribution sera ainsi globalement réduite.

1.3.5. Mode de compensation :

La compensation peut être globale, par secteur ou individuelle. En principe, la compensation idéale est celle qui permet de produire l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée et en quantité ajustée à la demande.

Ce mode de compensation est très coûteux, on cherchera donc, dans la pratique, un optimum technico-économique.

Dans notre cas, la compensation adaptée à l'usine est la compensation globale à cause de la régularité des charges des différents ateliers.

La compensation se fait par des batteries de condensateurs en gradins avec régulation automatique (ref.rectiphase F-74371).

Pour les différents calculs on a pris un $\cos\phi$ globale de valeurs : $\cos\phi = 0,9$

A) Compensation globale :

-Principe :

La batterie est raccordée en tête d'installation (fig2.1.3) et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation. Elle reste en service de façon permanente pendant la période de facturation de l'énergie réactive pour un fonctionnement normal du site.

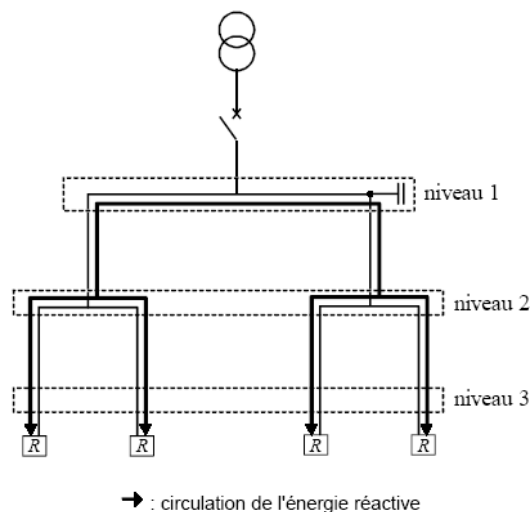


Figure 2.1.3 schéma de principe de la compensation globale.

-Intérêt

Le foisonnement naturel des charges permet un dimensionnement faible de la batterie. Elle est en service en permanence, elle est donc amortie encore plus rapidement.

Ce type de compensation peut, suivant le cas :

- ✓ supprimer les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.
- ✓ diminuer la puissance apparente en l'ajustant au besoin en puissance active de l'installation.
- ✓ augmenter la puissance active disponible du transformateur de livraison.

-Utilisation :

Lorsque la charge est régulière, une compensation globale convient.

I.5. Calcul de la puissance totale consommée au niveau de l'atelier :

L'alimentation en énergie électrique de l'atelier sera assurée via trois armoires de distribution, qui sont connectées au TGBT, alimentées par un transformateur d'une puissance que l'on va calculer à partir de l'évaluation de la puissance totale de l'atelier. Les charges sont réparties comme suit :

La partie N°1 est alimentée par l'armoire de distribution (cellule) N°1, la partie N°2 est alimentée par la cellule N°2 et la partie N°3 est alimentée par la cellule N°3.

I.5.1. Puissance consommée dans chaque cellule :

La puissance consommée dans chaque cellule sera évaluée en fonction du nombre et du type de récepteurs et de circuits.

Méthode de calcul de la puissance consommée :

a) Puissance consommée au niveau de chaque récepteur :

Soit un récepteur d'indice (i), de facteur de puissance $\cos\phi_i$ et de puissance P_i et Q_i

- Désignons par K_u le facteur d'utilisation du récepteur « i »
- Désignons par K_{s_r} le facteur de simultanéité en fonction du type de récepteur

$$P_{r_i} = P_i \cdot K_u \cdot K_{s_r}$$

$$Q_{r_i} = P_{r_i} \cdot \tan\phi_i$$

b) Puissances actives et réactives consommées par les départs des cellules :

$$P_{dpi} = \sum Pr_i ; Q_{dpi} = \sum Qr_i$$

Exemples de calcul au niveau d'un départ :

Soit dp_1 (départ presse N°1)

Puissance active et réactive de ce départ

$$K_u = 1 ; K_{s_r} = 1 ; P_{p_1} = 375,162 \text{ KW}$$

$$P_{d_{p_1}} = P_{p_1} \cdot K_u \cdot K_{s_r} = 375,162 \cdot 1 \cdot 1 = 375,162 \text{ KW}$$

$$Q_{d_{p_1}} = P_{d_{p_1}} \cdot \text{tg}\phi = 375,162 \cdot 0,33 = 123,803 \text{ KVAR}$$

Soit d_{pp} (départ pompes process)

Puissance active et réactive de ce départ

$$K_u = 0,75 ; K_{s_r} = 1 ; P_{pp} = 18,5 \text{ KW}$$

$$P_{d_{pp}} = \sum P_{pp} \cdot K_u \cdot K_{s_r} = 2 \cdot 18,5 \cdot 0,75 \cdot 1 = 27,75 \text{ KW}$$

$$Q_{d_{pp}} = P_{d_{pp}} \cdot \text{tg}\phi = 27,75 \cdot 0,33 = 9,16875 \text{ KVAR}$$

Pour les résultats de calculs nous les avons représentés dans les tableaux ci-après :

N° de cellule	Type de départ	Type de récepteur	P (kW)	cosφ	K _{s,r}	K _u	P _{d_i}	Q _{d_i}	S _{d_i} (KVA)
Cellule N°1	Dp1	Presse N1	375,162	0,9	1	1	375,162	180,08	416,14
	Dsmt	Sécheur matière	180	0,9	1	1	185	88,8	205,2
	Dcm	Chauffe moule	30	0,9	1	0,75	22,5	10,8	24,95
	Dsml	Sécheur moule	16,5	0,9	1	0,75	12,375	5,94	13,726
	Dpp	Pompe process	18,5	0,9	1	0,75	27,75	13,32	30,78
		Pompe process	18,5						
	Dcsd	Convoyeur soft-drop	0,18	0,9	1	0,6	0,216	0,104	0,240
Dd	doseur	1	0,9	1	0,6	1,2	0,576	1,331	

Tableau 2.1.5 Evaluation des puissances au niveau des départs de la cellule N°1

N° de cellule	Type de départ	Type de récepteur	P (kW)	cos ϕ	K _{s,r}	K _u	P _{d_i}	Q _{d_i}	S _{d_i} (KVA)	
Cellule N°2	Dp2	Presse N°2	323,824	0,9	1	1	323,824	155,435	359,196	
	Dsmt	Sécheur matière	180	0,9	1	1	185	88,8	205,2	
	Dcm	Chauffe moule	30	0,9	1	0,75	22,5	10,8	24,95	
	Dsml	Sécheur moule	16,5	0,9	1	0,75	12,375	5,94	13,726	
	Dpp	Pompe process	18,5	0,9	1	0,75	27,75	13,32	30,78	
		Pompe process	18,5							
	Dcsd	Convoyeur soft-drop	0,18	0,9	1	0,6	0,216	0,104	0,240	
	Dd	doseur	1	0,9	1	0,6	1,2	0,576	1,331	

Tableau 2.1.6 Evaluation des puissances au niveau des départs de la cellule N°2

N° de cellule	Type de départ	Type de récepteur	P (kW)	cos ϕ	K _{Sr}	K _u	P _{d_i}	Q _{d_i}	S _{d_i} (KVA)	
Cellule N°3	Dr1	Refroidisseur N°1	152,621	0,9	1	1	152,621	73,26	169,293	
	Dr2	Refroidisseur N°2	152,621	0,9	1	1	152,621	73,26	169,293	
	Dpd	Pompe de distribution	18,5	0,9	1	0,75	41,625	19,98	46,171	
		Pompe de distribution	18,5							
		Pompe de distribution	18,5							
	Dc	compresseur	45	0,9	1	0,75	25,312	12,15	28,07	
	Dpa	Pompe d'alimentation	11	0,9	1	0,75	16,5	7,92	18,3	
		Pompe d'alimentation	11							
	Dsa	Sécheurs d'air	1,9	0,9	1	0,6	0,54	0,259		
	Dpc	Prises de courant mono	1,730	0,9		0,8	7,25	3,48	8,042	
Prises de courant tri		8,340	0,33							
DE	29 luminaires	2,088	0,9	1	1	3,288	1,578	3,647		
	3 projecteurs	1,2								

Tableau 2.1.7 Evaluation des puissances au niveau des départs de la cellule N°3

I.5.2. Dimensionnement des armoires de distribution (cellules) :

On désigne par K_{sc} le facteur de simultanéité en fonction du nombre de circuits

En tenant compte d'une extension éventuelle de 20% de la puissance au niveau de chaque cellule, nous aurons :

$$P_{c_i} = \sum P_{d_i} \cdot K_{s_c} \cdot 1,2$$

Pour la cellule N°3 :
$$P_{c_3} = \sum P_{d_i} \cdot K_{s_c} \cdot 1,2 + P_{DE}$$

a) La puissance active et réactive de la cellule N°1 :

$$P_{c_1} = \sum P_{d_i} \cdot K_{s_c} \cdot 1,2$$

$$P_{c_1} = (P_{d_{p1}} + P_{d_{smt}} + P_{d_{cm}} + P_{d_{sml}} + P_{d_{pp}} + P_{d_{csd}} + P_{d_d}) \cdot K_{s_c} \cdot 1,2$$

$$Q_{c_1} = (Q_{d_{p1}} + Q_{d_{smt}} + Q_{d_{cm}} + Q_{d_{sml}} + Q_{d_{pp}} + Q_{d_{csd}} + Q_{d_d}) \cdot K_{s_c} \cdot 1,2$$

$$P_{c_1} = (375,162 + 185 + 22,5 + 12,375 + 27,75 + 0,216 + 1,2) \cdot 0,7 \cdot 1,2 = 524,330 \text{ KW}$$

$$Q_{c_1} = P_{c_1} \cdot \text{tg}\varphi = 524,330 \cdot 0,48 = 251,678 \text{ KVAR}$$

b) La puissance active et réactive de la cellule N°2 :

$$P_{c_2} = \sum P_{d_i} \cdot K_{s_c} \cdot 1,2$$

$$P_{c_2} = (P_{d_{p2}} + P_{d_{smt}} + P_{d_{cm}} + P_{d_{sml}} + P_{d_{pp}} + P_{d_{csd}} + P_{d_d}) \cdot K_{s_c} \cdot 1,2$$

$$Q_{c_2} = (Q_{d_{p2}} + Q_{d_{smt}} + Q_{d_{cm}} + Q_{d_{sml}} + Q_{d_{pp}} + Q_{d_{csd}} + Q_{d_d}) \cdot K_{s_c} \cdot 1,2$$

$$P_{c_2} = (323,824 + 185 + 22,5 + 12,375 + 27,75 + 0,216 + 1,2) \cdot 0,7 \cdot 1,2 = 481,206 \text{ KW}$$

$$Q_{c_2} = P_{c_2} \cdot \text{tg}\varphi = 481,206 \cdot 0,48 = 230,97 \text{ KVAR}$$

c) La puissance active et réactive de la cellule N°3 :

$$P_{c_2} = \sum P_{d_i} \cdot K_{s_c} \cdot 1,2$$

$$P_{c_3} = (P_{d_{r1}} + P_{d_{r2}} + P_{d_{pd}} + P_{d_{pa}} + P_{d_c} + P_{d_{sa}} + P_{d_{pc}}) \cdot K_{s_c} \cdot 1,2 + P_{DE}$$

$$Q_{c_3} = (Q_{d_{r1}} + Q_{d_{r2}} + Q_{d_{pd}} + Q_{d_{pa}} + Q_{d_c} + Q_{d_{sa}} + Q_{d_{pc}}) \cdot K_{s_c} \cdot 1,2 + Q_{DE}$$

$$P_{c_3} = (152,162 + 152,162 + 41,625 + 16,5 + 25,312 + 0,54 + 7,25) \cdot 0,7 \cdot 1,2 + 3,288 = 336,322 \text{ KW}$$

$$Q_{c_3} = P_{c_3} \cdot \text{tg}\varphi = 336,322 \cdot 0,48 = 161,434 \text{ KVAR}$$

1.5.3. Dimensionnement du tableau général basse tension (TGBT) :

Soit :

P_{TG} : puissance active du tableau général et Q_{TG} : puissance réactive du tableau général.

K_{Sc} le facteur de simultanéité en fonction du nombre de circuits.

En tenant compte d'une extension éventuelle de 30% de la puissance

$$P_{TG} = (\sum P_{Ci} \cdot K_{Sc}) 1,3 = [(524,330 + 481,206 + 336,322) 0,9] \cdot 1,3 = 1569,973 \text{ KW}$$

$$Q_{TG} = (\sum Q_{Ci} \cdot K_{Sc}) 1,3 = P_{TG} \cdot \tan \phi = 1569,973 \cdot 0,48 = 753,585 \text{ KVAR}$$

$$S_{TG} = [(P_{TG})^2 + (Q_{TG})^2]^{1/2}$$

$$S_{TG} = [(1569,973)^2 + (753,585)^2]^{1/2} = 1741,466 \text{ KVA}$$

$$P_{TG} = 1569,973 \text{ KW}; Q_{TG} = 753,585 \text{ KVAR}; S_{TG} = 1741,466 \text{ KVA}$$

$$I = S/U(3)^{1/2} = 1741,466/400(3)^{1/2} = 2513,6 \text{ A et } \cos \phi = 0,9$$

Remarque: l'alimentation de l'atelier ne nécessite pas d'installer un transformateur pour l'instant. Pour cela une liaison armoires de distribution-tableau général déjà existante est suffisante pour alimenter l'atelier, par un transformateur de puissance ($S=3150 \text{ KVA}$).

Si dans le futur on veut installer un transformateur pour l'atelier, alors il faudra choisir un transformateur qui pourra subvenir aux besoins de la charge existante, et à des éventuelles extensions, que sa soit au niveau du TGBT ou au niveau des armoires de distributions, et qui d'après le calcul de la puissance globale aura une puissance ($S=2000 \text{ KVA}$).

S (kVA)	50	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
In (A)	69	137	220	275	344	433	550	687	866	1100	1375	1718	2200	2749	3437
Ucc (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
I_{cc3} (kA)	1,81	3,61	5,78	7,22	9,03	11,37	14,44	18,05	22,75	19,26	24,07	30,09	38,52	48,15	60,18
R_{Tn} (mΩ)	43,75	21,9	13,7	10,9	8,75	6,94	5,47	4,38	3,47	4,10	3,28	2,63	2,05	1,64	1,31
X_{Tn} (mΩ)	134,1	67	41,9	33,5	26,8	21,28	16,76	13,41	10,64	12,57	10,05	8,04	6,28	5,03	4,02

Tableau 2.1.8 transformateurs triphasés immergés dans un diélectrique liquide-valeurs calculées pour $U=420 \text{ V}$ [10]

II.1.Introduction :

L'ensemble d'un circuit électrique (conducteurs et protections associées) est déterminé de manière à satisfaire à toutes les conditions de fonctionnement.

L'étude de l'installation consiste à déterminer précisément les canalisations et leurs protections électriques en commençant à l'origine de l'installation (source) pour aboutir aux circuits terminaux

Chaque ensemble constitué par la canalisation et sa protection doit répondre simultanément à plusieurs conditions qui assurent la sûreté de l'installation.

Certains logiciels (Ecodial,...), détermine la section des canalisations et leurs protections à partir des caractéristiques (type de câble, mode de pose, ...). En conformité avec la norme NF C 15-100 et suivant le diagramme ci-dessous.

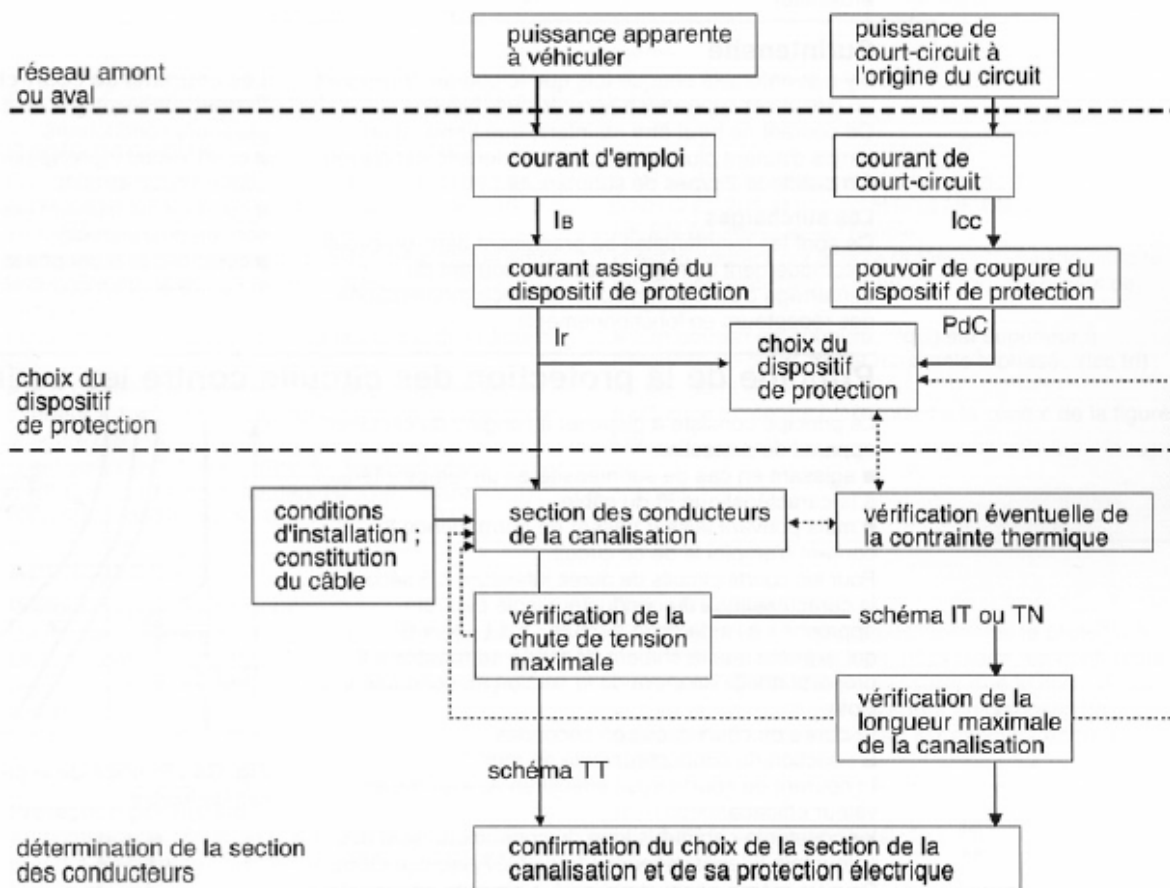


Tableau 2.2.1 Logigramme du choix de la section des canalisations et du dispositif de protection.

[10]

II.2. Canalisations basse tension :

II.2.1. Définition des termes relatifs aux canalisations basse tension :

-Câble (isolé)

Ensemble constitué par :

- un ou plusieurs conducteurs isolés
- leur revêtement individuel éventuel
- la protection d'assemblage éventuelle
- le ou les revêtements de protection éventuels

Il peut comporter en plus un ou plusieurs conducteurs non isolés.

-Câble multiconducteur / Câble multipolaire

Câble comprenant plus d'une âme, dont éventuellement certains non isolés.

-Câble unipolaire / Câble à un conducteur

Câble comprenant un seul conducteur isolé.

-Canalisation

Ensemble constitué par un ou plusieurs conducteurs électriques et les éléments assurant leur fixation et, le cas échéant, leur protection mécanique.

-Caniveau

Enceinte située au-dessus ou dans le sol, ventilée ou fermée, ayant des dimensions ne permettant pas aux personnes d'y circuler, mais dans laquelle les canalisations sont accessibles sur toute leur longueur pendant et après installation.

-Chemin de câbles (ou tablette)

Support constitué d'une base continue, munie de rebords et ne comportant pas de couvercle.

A noter : un chemin de câbles (ou tablette) peut être perforé ou non perforé.

-Circuit (électrique, d'installation)

Ensemble des matériels électriques de l'installation alimentés à partir de la même origine et protégés contre les surintensités par le ou les mêmes dispositifs de protection.

-Conducteur (isolé)

Ensemble comprenant l'âme, son enveloppe isolante et ses écrans éventuels.

-Conduit (circulaire)

Enveloppe fermée, de section droite circulaire, destinée à la mise en place ou au remplacement de conducteurs isolés ou de câbles par tirage, dans les installations électriques.

-Conduits – profilés

Ensemble d'enveloppes fermées, de section non circulaire, destinées à la mise en place ou au remplacement de conducteurs isolés ou de câbles par tirage, dans les installations électriques.

-Corbeaux

Supports horizontaux de câbles fixés à l'une de leurs extrémités, disposés de place en place et sur lesquels ceux-ci reposent.

-Echelle à câbles

Support de câbles constitué d'une série d'éléments non jointifs rigidement fixés à des montants principaux.

-Fourreau (ou buse)

Élément entourant une canalisation et lui conférant une protection complémentaire dans des traversées de paroi (mur, cloison, plancher, plafond) ou dans des parcours enterrés.

-Gaine

Enceinte située au-dessus du niveau du sol, dont les dimensions ne permettent pas d'y circuler et telle que les câbles soient accessibles sur toute leur longueur. Une gaine peut être incorporée ou non à la construction.

-Goulotte

Ensemble d'enveloppes fermées par un couvercle et assurant une protection mécanique des conducteurs isolés ou des câbles, ceux-ci étant mis en place ou retirés autrement que par tirage et permettant d'y adapter d'autres matériels électriques.

-Courant d'emploi d'un circuit

Courant destiné à être transporté dans un circuit en service normal

- au niveau des circuits terminaux, c'est le courant qui correspond à la puissance apparente des récepteurs.

– au niveau des circuits de distribution, c'est le courant correspondant à la puissance d'utilisation la quelle tient compte des coefficients de simultanéité et d'utilisation.

-Courant (permanent) admissible d'un conducteur I_z

C'est le courant maximal que la canalisation peut véhiculer en permanence sans préjudice pour sa durée de vie. Ce courant pour une section donnée dépend de plusieurs paramètres :

- constitution du câble (cuivre, aluminium, isolation PVC ou PR, nombre de conducteurs actifs)

- température ambiante

- mode de pose

- influence des circuits voisins (effets de proximité).

Surintensité

Il y a surintensité chaque fois que le courant traversant un circuit est supérieur à son intensité admissible. On distingue 2 types de surintensité :

- **les surcharges** : surintensités se produisant dans un circuit électriquement sain (courant de démarrage d'un moteur asynchrone, surabondance momentanée des récepteurs en fonctionnement).
- **les courants de court-circuit** : ils sont consécutifs à un défaut dans un circuit entre plusieurs conducteurs.

2.1.2. Choix des câbles :

Le marché actuel offre de nombreux modèles de câbles électriques dont les qualités particulières tiennent autant aux caractéristiques des isolants qu'à la construction et la protection des câbles. Pour cela chaque liaison doit être étudiée sous tous ces aspects à savoir :

- Le mode pose et la nature du milieu ambiant ;
- La tension et la nature du réseau ;
- Les températures extrêmes du milieu ambiant ;
- Le mode de mise à la terre du neutre ;
- L'intensité à transporter ;
- La nature des âmes conductrices ;
- La longueur de la liaison ;
- Le facteur de puissance des appareils ;
- La chute de tension admissible ;
- L'intensité de démarrage des moteurs ;
- La valeur du courant du court circuit et le temps de coupure par défaut (coupure des appareils de protection) ;
- Le régime de marche ;
- Le nombre d'année d'amortissement ;
- Le taux d'intérêt des capitaux engagés dans l'installation ;
- Le prix du câble ;

2.1.3. Câble utilisé :

Pour l'alimentation en énergie électrique de l'atelier, nous avons choisi le câble suivant :

U1000R2V

2.1.4. Caractéristiques :

- Tension nominale : 1000V
- âme rigide à câble classe 2
- Température maximale à l'âme : 85°C en permanence, et 250°C en court circuit
- Température de pose : -10°C
- Bonne résistance mécanique (choc, écrasement)
- Bonne étanchéité à l'eau et l'humidité
- Bonne résistance à l'attaque des agents chimiques

2.1.5. Emploi :

a) Utilisation :

- ✓ Installation industrielle
- ✓ Colonnes montantes d'immeubles

b) Pose :

- Sans protection mécanique complémentaire :
 - A l'air libre
 - Fixé aux parois ou sur chemin de câble
- Avec protection mécanique complémentaire :
 - Dalles, tuiles, brique pour la pose enterrée des câbles.
 - Gaines, caniveaux, goulottes, gouttières.

2.1.6. Choix du mode de pose :

Dans notre installation on pose les câbles à l'air libre sur des chemins de câbles (corbeaux), pour éviter l'encombrement, et pour que les canalisations soient accessibles si nécessité oblige.

Exemple	Description	N°	Lettre de sélection	
	Câbles mono ou multiconducteurs avec ou sans armure :			
	- fixés sur un mur	11	C	
	- fixés à un plafond	11A	C	
	- sur des chemins de câbles ou tablettes non perforés	12	C	
			câbles	
			multi-conducteurs	mono-conducteurs
	- sur des chemins de câbles ou tablettes perforés en parcours horizontal ou vertical	13	E	F
	- sur des corbeaux	14	E	F
	- sur des échelles à câbles	16	E	F

Tableau 2.2.2 mode de pose pour les lettres de sélection C, E et F. [10]

II.3. Les différents régimes du neutre :

Les réseaux de distribution sont caractérisés essentiellement par la nature et le nombre de conducteurs actifs, ainsi que par les liaisons à la terre du régime du neutre.

La sécurité des personnes et du matériel est assurée différemment en fonction du régime du neutre utilisé dans une installation.

On distingue trois régimes du neutre **TT, TN, IT**.

Tout régime du neutre est repère par deux lettres :

- ✓ La première lettre symbolise la situation de l'alimentation par rapport à la terre.

T : liaison direct du point neutre à la terre.

I : absence de liaison du neutre à la terre ou liaison d'un point avec la terre, à travers une impédance Z.

- ✓ La deuxième lettre symbolise la situation des masses de l'installation par rapport à la terre.

T : masses reliée directement à la terre.

N : masses reliées au neutre de l'installation, lui-même relié à la terre.

II.3.1. Régime TT (neutre à la terre) :

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre, les masses de l'installation sont aussi reliées à la terre. Cette solution simple à l'étude et à l'installation pour les réseaux de distribution basse tension.

Aussitôt qu'un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure, c'est la coupure au premier défaut.

II.3.2. Régime TN (mise au neutre) :

Le neutre de l'alimentation est relié à la terre et les masses sont reliées au neutre. Ce schéma n'est possible que dans les installations alimentées à partir d'un poste de transformateur privé. La coupure doit être assurée par coupure au premier défaut.

II.3.3. Régime IT (neutre isolé) :

Le neutre est :

-soit isolé (non relié à la terre)

-soit relié à la terre par l'intermédiaire d'une impédance Z (neutre impédant) et les masses d'utilisation sont mis à la terre.

Ce régime n'est possible que dans les installations alimentées à partir d'un poste de transformation.

Le premier défaut ne présente pas de danger, le courant phase-masse est très faible et aucune tension dangereuse n'est à craindre. Mais il doit être signalé et cherché pour être éliminé, la coupure est obligatoire au deuxième défaut.

Le choix du régime du neutre :

Il définit le mode de raccordement à la terre d'un transformateur de distribution et des masses côté utilisateur.

Il a pour but de protéger les personnes et le matériel en maîtrisant les défauts d'isolement.

Sur le plan de la protection des personnes, les trois régimes sont équivalents, si l'on respecte toute les règles d'installation et d'exploitation.

Vu les caractéristiques de l'installation et les conditions de l'exploitation de l'atelier (continuité de service...), le régime de neutre IT s'impose.

II.4.Principe de la méthode :

En conformité avec les recommandations de la norme NF C 15-100, le choix de la section des canalisations et du dispositif de protection doit satisfaire plusieurs conditions nécessaires à la sécurité de l'installation.

La canalisation doit :

- véhiculer le courant maximal d'emploi et ses pointes transitoires normales
- ne pas générer des chutes de tension supérieures aux valeurs admissibles.

Le dispositif de protection doit :

- protéger la canalisation contre toutes les surintensités jusqu'au courant de court-circuit
- assurer la protection des personnes contre les contacts indirects.

1ère étape :

- connaissant la puissance d'utilisation, on détermine le courant maximal d'emploi I_B et on en déduit le courant assigné I_n du dispositif de protection
- on calcule le courant de court-circuit maximal I_{cc} à l'origine du circuit et on en déduit le pouvoir de coupure PdC du dispositif de protection.

2ème étape :

- selon les conditions d'installation (mode de pose, température ambiante, ...), on détermine le facteur global de correction f
- en fonction de I_n et f , on choisit la section adéquate du conducteur.

3ème étape :

- vérification de la chute de tension maximale
- vérification de la tenue des conducteurs à la contrainte thermique en cas de court-circuit
- pour les schémas TN et IT, vérification de la longueur maximale relative à la protection des personnes contre les contacts indirects.

La section du conducteur satisfaisant toutes ces conditions est alors retenue.

1. Calcul du courant d'emploi I_B :

On calcule le courant d'emploi I_B à partir de la puissance à véhiculer dans le câble.

On le détermine par une méthode qui s'appuie sur la connaissance de la puissance de chaque circuit d'utilisation pour lequel sont attribués différents coefficients.

Coefficients minorants :

- facteur de simultanéité lié au foisonnement des circuits (prises de courant par exemple),
- facteur d'utilisation (ou de charge).

Coefficients majorants :

-facteur lié au rendement ou au $\cos\phi$ dégradé (lampes à fluorescence) et à des surintensités (démarrage moteurs).

-facteur de prévision d'extension de l'installation.

- **Facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement : a**

La puissance apparente d'un récepteur est :

$$S = P_u / r \cdot F_p$$

P_u : puissance utile en kW

r : rendement

F_p : facteur de puissance

On définit le coefficient : $a = 1 / r \cdot F_p$

Lorsque le conducteur est parcouru par un courant dépourvu d'harmoniques, $F_p = \cos\phi$.

- **Facteur d'utilisation des appareils : b**

Dans une installation industrielle, on suppose que les récepteurs ne seront jamais utilisés à pleine puissance. On introduit alors un facteur d'utilisation (b)

Type d'utilisation	Grands moteurs	Moteurs moyens	Petits moteurs	Eclairage Chauffage	Machine outils	Prise : -Bureau -Atelier
b	1	0.75	0.6	1	0.8	0.5 0.8

- **Facteur de simultanéité : c**

Dans une installation industrielle, les récepteurs (d'un atelier par exemple) alimentés par une même canalisation, ne fonctionnent pas simultanément dans tous les cas. Pour tenir compte de ce phénomène, qui reste lié aux conditions d'exploitation de l'installation, dans le dimensionnement des liaisons, on applique à la somme des puissances des récepteurs le facteur de simultanéité.

Nombre de circuits	2-3	4-5	6-9	10 et plus
c	0.9	0.8	0.7	0.6

Tableau facteur de simultanéité K_{sc} en fonction du nombre de circuits

- **Facteur tenant compte des prévisions d'extension : d**

La valeur du facteur d doit être estimée suivant les conditions prévisibles d'évolution de l'installation ; il est au moins égal à 1.

A défaut de précision, la valeur 1,2 est souvent utilisée.

- **Facteur de conversion des puissances en intensités : e**

Le facteur de conversion de la puissance en intensité est :

$$e=8 \text{ en monophasé } 127 \text{ V}$$

$$e=4,35 \text{ en monophasé } 230 \text{ V}$$

$$e=2,5 \text{ en triphasé } 230 \text{ V}$$

$$e=1,4 \text{ en triphasé } 400 \text{ V}$$

$$IB = Pu \cdot a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e$$

Pu : puissance utile en kW

IB : courant maximal d'emploi en A

2. Choix du calibre de l'appareil de protection

L'intensité assignée I_n du dispositif de protection, coupe-circuit à fusible ou disjoncteur doit être prise juste supérieure à l'intensité d'emploi IB calculée : **$I_n \geq IB$**

On réglera le disjoncteur de calibre I_n pour obtenir une intensité de réglage **$I_r \approx IB$**

Le choix du pouvoir de coupure de l'appareil PdC de protection se fera après calcul du courant de court-circuit présumé à l'endroit où l'appareil de protection est installé.

3. Détermination de la section de la canalisation :

La section de la canalisation qui va véhiculer le courant d'emploi IB doit être choisie de sorte que le courant admissible I_Z de celle-ci soit supérieur au calibre de l'appareil I_n qui le protège.

Il convient donc de respecter : $IB \leq In \leq IZ$

Pour les disjoncteurs réglables, il est conseillé de choisir IZ égal ou juste supérieur au calibre In nominal de l'appareil de protection. Les conséquences d'un réglage thermique Ir inadapté ou d'une évolution du courant d'emploi IB seront sans risque.

En cas de protection de la canalisation par coupe-circuit à fusibles il convient d'appliquer un coefficient majorant l'intensité IZ.

Pour prendre en compte les conditions dans lesquelles est installée la canalisation des facteurs de correction sont appliqués. Ils tiennent compte du mode de pose, du type de câble mono ou multiconducteur, de la nature de l'isolant et de l'âme des conducteurs, du regroupement des circuits, et de la température ambiante.

a) Méthode de référence et facteur de correction lié au mode de pose K1 :

Des tableaux permettent de déterminer une lettre de sélection ou méthode de référence correspondant au type de conducteurs utilisés (mono ou multiconducteurs) et un coefficient d'influence K1.






N° mode de pose	Exemple	Description	Méthode de référence	Facteur de correction	Référence des tableaux spécifiques des facteurs liés aux groupements		
					Circuits	Couches	Conduits
11		Câbles mono ou multiconducteurs, avec ou sans armature, fixés au mur	C	1	T1, D2	-	-
11A		Câbles mono ou multiconducteurs, avec ou sans armature, fixés à un plafond	C	0,95	T1, D3	-	-
12		Câbles mono ou multiconducteurs posés sur des chemins de câbles ou tablettes non perforées	C	1	T1, D2	T2	-
13		Câbles multiconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical	E	1	T1, D4	T2	-
13A		Câbles monoconducteurs sur des chemins de câbles ou tablettes perforées, en parcours horizontal ou vertical	F	1	T1, D4	T2	-
14		Câbles multiconducteurs sur des corbeaux sur des chemins de câbles en treillis soudé	E	1	T1, D5	T2	-
14A		Câbles monoconducteurs sur des corbeaux sur des chemins de câbles en treillis soudé	F	1	T1, D5	T2	-

Tableau 2.2.3 Câbles et conducteurs poses à l'air libre [10]

b) Facteur de correction lié au groupement de circuits K2 :

Ce facteur tient compte de l'influence thermique mutuelle des circuits placés côte à côte.

Les câbles sont considérés comme jointifs si la distance les séparant n'excède pas 2 fois le diamètre du plus gros des câbles.

Si les câbles sont disposés en plusieurs couches il faut appliquer à K2 un facteur multiplicatif du tableau (2.2.4).

En triphasé, le nombre de circuits à considérer est le nombre total de lignes triphasées placées dans la canalisation.

Nombre de couches	2	3	4 ou 5	6 à 8	9 et plus
Coefficient	0,80	0,73	0,70	0,68	0,66

Tableau 2.2.4 facteur de correction pour pose en plusieurs couches [10]

Disposition de circuits ou de câbles jointifs ⁽¹⁾	Facteurs de correction											
	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
D1 : Enfermés	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,56	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
D2 : Simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles		
D3 : Simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
D4 : Simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72			
D5 : Simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, treillis soudés, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Tableau 2.2.5 facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou plusieurs câbles multiconducteurs [10]

c) Facteur de correction lié à la température ambiante K3 :

La température ambiante et la nature de l'isolant ont une influence directe sur le dimensionnement des conducteurs.

La température à prendre en compte est celle de l'air autour des câbles (pose à l'air libre), et celle du sol pour les câbles enterrés.

Température ambiante (°C)	Caoutchouc	Isolation	
		PVC	PR
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
25	1,15	1,12	1,08
30	1,07	1,06	1,04
35	0,93	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71
65	-	-	0,65
70	-	-	0,58
75	-	-	0,50
80	-	-	0,41
85	-	-	-
90	-	-	-
95	-	-	-

Tableau 2.2.6 facteurs de correction pour les températures ambiantes [10]

d) Choix de la section des conducteurs :

Quand tous les facteurs spécifiques de correction sont connus, on calcule le coefficient global K de correction égal au produit de tous les facteurs spécifiques.

On en déduit le courant fictif $I'z$ admissible par la canalisation : $I'z = I_z / k$

La connaissance de $I'z$ permet alors de se reporter aux tableaux de détermination des courants admissibles (ci-après) qui permet de déterminer la section nécessaire (en mm²). La lecture s'effectue dans la colonne qui correspond au type de conducteur et à la ligne de la méthode de référence.

Pour trouver la section il suffit alors de choisir dans le tableau correspondant à la nature de l'âme la valeur de courant admissible immédiatement supérieure à la valeur $I'z$.

Méthode de référence	Isolant et nombre de conducteurs chargés								
	B	PVC 3	PVC 2		PR 3		PR 2		
C			PVC 2		PVC 2	PR 1		PR 2	
D									
E			PVC 3		PVC 2	PR 3			PR 2
F				PVC 3		PVC 2	PR 3		PR 2
S (mm ²)									
Cuivre									
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	25	
2,5	21	24	25	27	30	31	33	35	
4	28	32	34	36	40	42	44	46	
6	36	41	43	46	51	54	57	61	
10	60	67	70	73	79	83	87	91	
16	98	110	115	120	130	136	142	148	
25	149	167	174	181	194	201	209	217	181
35	199	223	232	240	256	264	273	282	200
50	271	301	312	323	343	353	364	375	242
70	371	414	428	442	474	486	500	514	310
95	497	555	573	591	634	648	663	678	377
120	659	734	756	778	832	848	864	881	437
150	854	947	974	1001	1068	1086	1104	1123	504
185	1104	1223	1256	1289	1370	1390	1411	1432	575
240	1471	1624	1664	1704	1808	1830	1852	1875	

$I_z \geq I'z$

Le courant admissible I_z pour une section normalisée de conducteur doit être choisi pour une valeur immédiatement supérieure à la valeur théorique déterminée $I'z$.

Tableau 2.2.7 extrait du tableau des courants admissibles [10]

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
	E			PVC3		PVC2	PR3		PR2	
	F				PVC3		PVC2	PR3		PR2
section cuivre (mm ²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
300		464	497	530	576	621	693	741	783	
400					656	754	825		940	
500					749	868	946		1 083	
630					855	1 005	1 088		1 254	
section aluminium (mm ²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
120	186	197	212	226	245	273	280	300	337	
150		227	245	261	283	316	324	346	389	

Tableau 2.2.8 courant admissible dans les canalisations en (A) [10]

4. Section du conducteur neutre :

Par principe, le neutre doit avoir la même section que le conducteur de phase dans tous les circuits monophasés.

Dans les circuits triphasés de section supérieure à 16 mm² en cuivre et 25 mm² en aluminium, la section du neutre peut être réduite jusqu'à $S_{ph}/2$.

Toutefois cette réduction n'est pas autorisée si :

- les charges ne sont pas pratiquement équilibrées,
- le taux de courants harmoniques de rang 3 est supérieur à 15% du fondamental.

Si ce taux est supérieur à 33%, la section des conducteurs actifs des câbles multipolaires est choisie en majorant le courant I_B par un coefficient multiplicateur de 1,45. Pour les câbles unipolaires, seule la section du neutre est augmentée.

5. Section du conducteur de protection :

Section des conducteurs de phase S_{ph}	Section du conducteur de protection S_{PE}
$S_{ph} < 16 \text{ mm}^2$	S_{ph}
$16 \text{ mm}^2 < S_{ph} \leq 35 \text{ mm}^2$	16 mm^2
$S_{ph} > 35 \text{ mm}^2$	$S_{ph} / 2$

Tableau 2.2.9 section du conducteur de protection en fonction de la section des conducteurs de phase [10]

6. Vérification de la chute de tension maximale :

Si la chute de tension est supérieure aux valeurs limites admises, il y a lieu d’augmenter la section des conducteurs jusqu’à ce que la chute de tension devienne inférieure aux valeurs prescrites.

Lorsque les canalisations principales de l’installation ont une longueur supérieure à 100 m, les valeurs limites admises des chutes de tension peuvent être augmentées de 0,005 % par mètre au-delà de 100 m, sans que ce supplément ne dépasse lui-même 0,5 %.

Cette chute de tension peut-être déterminée par calcul ou directement à l’aide de tableau.

Les relations ci-dessous permettent de calculer la chute de tension dans un circuit.

Circuit	Chute de tension	
	En volts	En %
Monophasé : deux phases	$\Delta U = 2I_B L (R \cos\phi + X \sin\phi)$	$100\Delta U / U_n$
Monophasé : phase et neutre	$\Delta U = 2I_B L (R \cos\phi + X \sin\phi)$	$100\Delta U / V_n$
Triphasé équilibré : (avec ou sans neutre)	$\Delta U = \sqrt{3} I_B L (R \cos\phi + X \sin\phi)$	$100\Delta U / U_n$

I_B : courant d’emploi en ampère, L : longueur du câble en km. R : résistance linéaire d’un conducteur en Ω/km .

$R = 22,5 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{Km} / \text{S}(\text{mm}^2)$ pour le cuivre

$R = 36 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{Km} / \text{S}(\text{mm}^2)$ pour l’aluminium

R négligeable pour $S > 500 \text{ mm}^2$. X réactance linéique en Ω/km ; négligeable pour $S < 50 \text{ mm}^2$.

En l’absence d’indication prendre $X = 0,08 \Omega/\text{km}$.

U_n : tension nominale entre phase, ϕ : déphasage du courant sur la tension

7. Calcul des courants de courts-circuits :

La détermination des valeurs de courant de courts-circuits présumés en tous points d'une installation est essentielle au choix des matériels (PdC des dispositifs de protection). Elle commence par l'estimation de cette valeur à l'origine de l'installation, puis en n'importe quel point selon plusieurs méthodes dont le choix dépend de l'importance de l'installation, des données disponibles, du type de vérification à effectuer...

La méthode des impédances consiste à totaliser les résistances et réactances des boucles de défaut depuis la source jusqu'au point considéré et à en calculer l'impédance équivalente.

Les différents courants de court-circuit et de défaut sont alors déduits par l'application de la loi d'Ohm.

a) Impédance due au réseau amont HTA :

L'impédance du réseau HT, vue côté BT, peut être obtenue auprès du distributeur, mesurée ou calculée à partir des formules suivantes :

$$Z_Q = \frac{(f_c \times U_n)^2}{S_{cc}} \text{ (en } m\Omega \text{)}$$

f_c : facteur de charge à vide pris égal à 1,05.

U_n : tension nominale de l'installation entre phases, en V.

S_{cc} : puissance de court-circuit du réseau HT, en kVA.

En l'absence d'informations précises de la part du distributeur d'énergie, la norme CEI 909 indique de calculer les résistances et réactances comme suit :

$R_Q = 0,1 \times X_Q$ et $X_Q = 0,995 \times Z_Q$ (valeurs en $m\Omega$). Par défaut, prendre $S_{cc} = 500$ MVA.

b) L'Impédance du transformateur :

$$Z_{TR} = \frac{(f_c \times U_n)^2}{S_{TR}} \times \frac{U_{cc}}{100}, \quad R_{TR} = \frac{P_{CU}}{3 \times I_n^2} \text{ et } X_{TR} = \sqrt{Z_{TR}^2 - R_{TR}^2} \text{ (en } m\Omega \text{)}$$

f_c : facteur de charge à vide, pris égal à 1,05.

U_n : tension nominale de l'installation entre phases, en V.

I_n : Intensité nominale du transformateur en A.

S_{TR} : puissance assignée du transformateur en kVA.

P_{CU} : pertes cuivre du transformateur en W.

U_{cc} : tension de court-circuit du transformateur, en %.

Les valeurs des résistances et réactances sont parfois données par le constructeur. Dans le cas contraire, elles sont à calculer à l'aide des formules : $R_{TR} = 0,31 \times Z_{TR}$ et $X_{TR} = 0,95 \times Z_{TR}$ (valeurs en mΩ).

Les tableaux ci-dessous fournissent les valeurs de résistances, réactances et courts-circuits triphasés maximaux (impédance HT nulle) pour les transformateurs immergés.

S (kVA)	50	100	160	200	250	315	400	500	630	800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500
In (A)	69	137	220	275	344	433	550	687	866	1 100	1 375	1 718	2 200	2 749	3 437
Ucc (%)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
I _{cc3} (kA)	1,81	3,61	5,78	7,22	9,03	11,37	14,44	18,05	22,75	19,26	24,07	30,09	38,52	48,15	60,18
R _{TR} (mΩ)	43,75	21,9	13,7	10,9	8,75	6,94	5,47	4,38	3,47	4,10	3,28	2,63	2,05	1,64	1,31
X _{TR} (mΩ)	134,1	67	41,9	33,5	26,8	21,28	16,76	13,41	10,64	12,57	10,05	8,04	6,28	5,03	4,02

Tableau 2.2.10 transformateurs triphasés immergés dans un diélectrique liquide-valeurs calculées pour U= 420 [10]

c) Pour un disjoncteur, seule la réactance $X_D = 0,15 \text{ m}\Omega$ peut-être prise en compte.

d) La résistance des jeux de barres est souvent négligée.

La réactance peut-être de l'ordre de $X_B = 0,15 \text{ m}\Omega/\text{m}$

e) On calcule la résistance des conducteurs des canalisations par la relation :

$$R = \rho \times \frac{l}{S} \text{ avec } \rho = 22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \text{ pour le cuivre et } \rho = 36 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \text{ pour l'aluminium.}$$

La réactance des conducteurs dont la section $S < 50 \text{ mm}^2$ peut être négligée, pour les autres cas on peut se reporter au tableau ci-dessous.

Câbles et pose	Réactances linéiques λ (mΩ/m)
Câbles multiconducteurs ou câbles mono conducteurs en trèfle	0,08
Câbles mono conducteurs jointifs en nappe	0,09
Câbles mono conducteurs séparés de plus d'un diamètre	0,13

Tableau 2.2.11 réactance linéique des conducteurs à utiliser en fonction du type de câble et de son mode de pose [10]

f) Courant de court-circuit en un point quelconque de l'installation :

Pour déterminer la valeur d'un court-circuit en un point quelconque de l'installation on totalise les résistances et réactances de la boucle de défaut depuis la source jusqu'au point considéré. On en déduit l'impédance équivalente. Les valeurs de court-circuit sont alors calculées par application de la loi d'Ohm (formule générale) :

$$I_{cc} = \frac{f_c \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_T} = \frac{f_c \times U_n}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$$

f_c : facteur de charge à vide, pris égal à 1,05.

U_n : tension nominale de l'installation entre phases, en V.

Z_T : impédance totale de la boucle de défaut au point considéré. C'est la somme vectorielle des résistances et réactances composant la boucle.

8. Vérification éventuelle de la contrainte thermique :

Le temps de coupure d'un disjoncteur, suite à un court-circuit ayant lieu en un point quelconque d'un circuit, ne doit pas être supérieur au temps portant la température des conducteurs à la limite admissible.

Pratiquement, il convient de s'assurer que la contrainte thermique que laisse passer le disjoncteur n'est pas supérieure à celle que peut effectivement supporter le câble. La contrainte thermique maximale (pour des temps inférieurs à 5 s) supportée par une canalisation se calcule par la formule suivante :

$$I^2 t = K^2 \times S^2$$

Isolant	PVC			PR / EPR			Caoutchouc 60°C			Caoutchouc 85°C			Caoutchouc siliconé			Nu sans isolant		
	9° max (°C)	160/ 140 ⁽²⁾			250			200			220			350			200/150 ⁽¹⁾	
Nature de l'âme	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier	Cu	Al	Acier
Conducteur de protection non incorporé à un câble ou conducteurs non-regroupés	143 133 ⁽²⁾	95 88 ⁽²⁾	52 49 ⁽²⁾	176	116	64	159	105	58	166	110	60	201	133	73	159 138 ⁽¹⁾	105 91 ⁽¹⁾	58 50 ⁽¹⁾
Conducteur actif ou de protection constitutif d'un câble multiconducteur ou conducteurs regroupés	115 103 ⁽²⁾	76 68 ⁽²⁾		143	94		141	93		134	89		132	87		138	91	50

(1) Si risque particulier d'incendie.

(2) Section supérieure à 300 mm² ou conducteurs regroupés

Tableau 2.2.12 valeur de K pour les conducteurs actifs et de protection [10]

9. Vérification des longueurs maximales protégées :

Pour assurer la protection des personnes en schéma de liaison à la terre TN et IT (au deuxième défaut), il est nécessaire de s'assurer que le plus petit courant de court-circuit fera effectivement fonctionner l'appareil de protection dans le temps limite.

Pour cela, il suffit de vérifier que ce courant, est supérieur au seuil de déclenchement du déclencheur magnétique du disjoncteur.

$$L_{\max} = \frac{0,8 \times V \times S}{2 \times \rho \times I_m}$$

L_{\max} : longueur maximale protégée en m

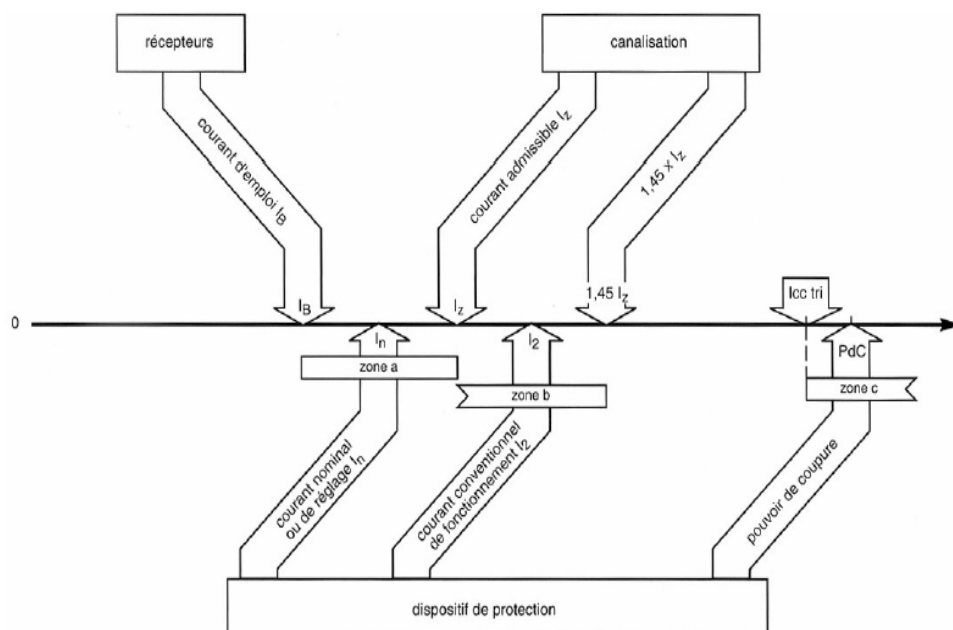
V : tension nominale de l'installation entre phase et neutre. Si le neutre n'est pas distribué prendre la tension entre phases.

S : section des conducteurs en mm^2

ρ : résistivité du métal constituant l'âme du conducteur $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

I_m : courant de déclenchement du magnétique du disjoncteur

Résumé :



II.5. La sélectivité entre dispositifs de protection :

La sélectivité est une technique qui consiste à coordonner les protections de manière à ce qu'un défaut sur un circuit ne fasse déclencher que la protection placée en tête de ce circuit, évitant ainsi la mise hors service du reste de l'installation. La sélectivité améliore la continuité de service et la sécurité de l'installation. On distingue :

a) La sélectivité ampère-métrique :

Cette technique repose sur le décalage en intensité des courbes de déclenchement des disjoncteurs amont et aval. Elle se vérifie par comparaison de ces courbes en s'assurant qu'elles ne se chevauchent pas. Elle s'applique pour la zone des surcharges et la zone des courts-circuits et est d'autant meilleure que les calibres des appareils sont éloignés.

b) La sélectivité chronométrique :

Cette technique repose sur le décalage en temps des courbes de déclenchement des disjoncteurs amont et aval. Elle se vérifie par comparaison des courbes et s'applique pour la sélectivité dans la zone des courts-circuits. Elle s'utilise en complément de la sélectivité ampère-métrique afin d'obtenir une sélectivité au-delà du courant de réglage magnétique du disjoncteur amont (I_{mA}).

c) La sélectivité logique :

Elle est assurée entre deux appareils qui communiquent via une liaison spécifique. Lorsque le disjoncteur aval détecte un défaut, il envoie un signal vers l'appareil amont qui sera alors temporisé. Si l'appareil aval n'a pas pu éliminer ce défaut durant la temporisation, il y aura intervention de l'appareil amont.

II.6. Calcul des sections des canalisations et des protections avec le logiciel ECODIAL :

II.6.1. Description :

Ecodial 3 est un logiciel d'aide à la conception de réseaux de distribution basse tension, incluant un éditeur de schéma utilisant des symboles normalisés, des fonctions de calcul conformes aux normes électrotechniques NF-C 15 100 et UTE-C 15 500.

Il offre plusieurs fonctions complémentaires : gestion des projets, résultats détaillés des calculs, configuration de l'impression, recherche de produits dans la base de données. Il permet également d'exporter les schémas et les calculs dans plusieurs formats.

Les fichiers exportés peuvent être utilisés dans d'autres applications telles que des traitements de textes ou des logiciels de dessin.

Il peut être utilisé pour concevoir des réseaux de distribution dont les caractéristiques générales sont les suivantes :

- tension 220 à 660 V
- fréquence 50 ou 60 Hz
- régime de neutre TT, TN ou IT
- sources : Jusqu'à 4 transformateurs ou générateurs identiques (deux ensembles de sources peuvent être définis, un pour une utilisation normale, l'autre en secours).

II.6.2.Fonctionnement :

Une fois que le PC est mis en marche, on double-clique sur l'icône Ecodial 3. Après quelques secondes, la boîte de dialogue « caractéristiques globales » s'affiche. On définit les caractéristiques électriques du réseau, puis on clique le bouton OK. Un espace de travail vierge apparaît.

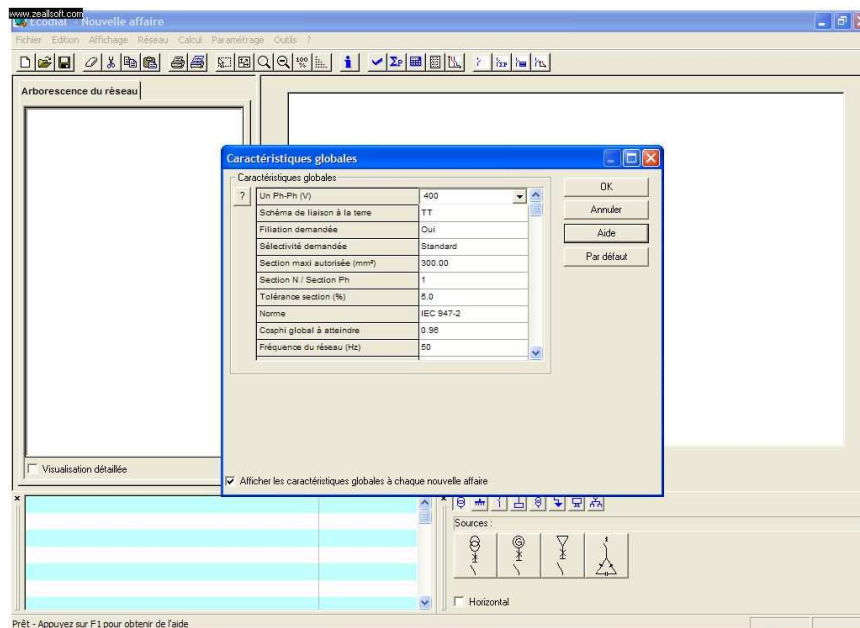


Figure 2.2.1 caractéristiques générales du réseau

Nous disposons de différents symboles électriques pour réaliser les schémas. Les symboles sont répartis entre plusieurs familles, appelées bibliothèques, et affichées dans la palette de

symboles. Une seule famille peut être affichée à un instant donné dans la palette, mais on peut facilement passer d'une famille à l'autre à l'aide des boutons de la barre d'outils de la palette.

On clique un des boutons dans la barre d'outils de la palette de symboles. Les symboles de la famille sélectionnée apparaissent dans la palette. Le nom de la famille apparaît dans la barre de titre de la palette.

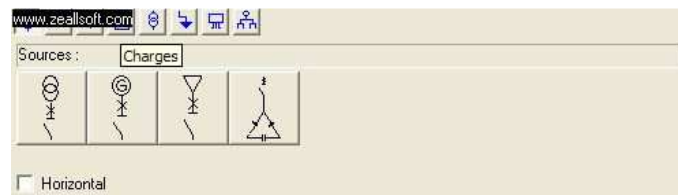


Figure 2.2.2 bibliothèque des symboles

On affiche la bibliothèque de symboles contenant le symbole électrique que nous voulons placer sur schéma.

On clique le symbole souhaité dans la palette. Le symbole apparaît accroché au bout du pointeur de la souris.

On amène le pointeur de la souris à l'endroit où nous voulons placer le symbole, puis on clique. Le symbole est placé sur le schéma et reste sélectionné : il apparaît en rouge.

Les symboles sont toujours affichés verticalement dans la palette. Pour placer un symbole horizontalement sur le schéma, on sélectionne la case à cocher Horizontal avant de sélectionner le symbole dans la palette.

On clique en dehors d'un symbole pour le désélectionner.

Deux segments de connexion (deux jeux de barres par exemple) ne peuvent être connectés entre eux.

Après avoir dessiné vérifié le réseau ou le circuit souhaité, on clique sur la commande bilan de puissance, une boîte de dialogue s'affiche avec le résultat de calcul de toutes les puissances du réseau, les courants d'emplois

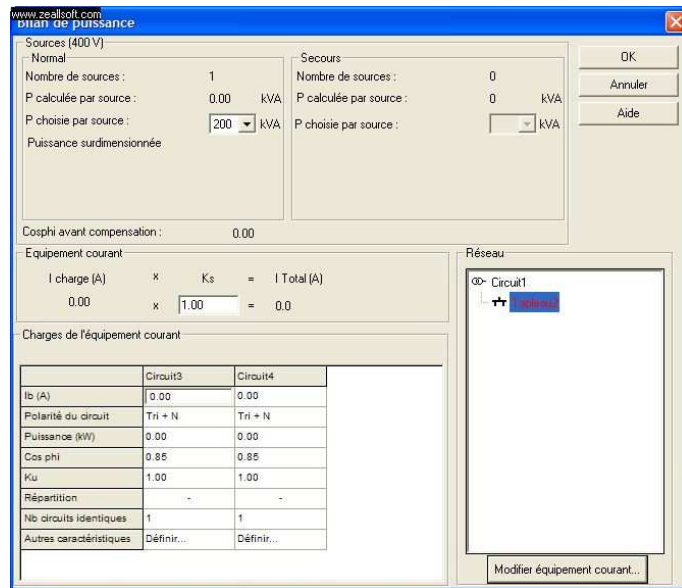


Figure 2.2.3 résultat du bilan de puissance

On clique la commande Pré-dimensionnement par exemple dans le menu Calcul. Un indicateur d'état d'avancement du processus apparaît. Un message nous informe de la fin du calcul.

On clique la commande Résultats dans le menu Calcul. La boîte de dialogue Résultats de calcul s'affiche.

Dans l'arborescence du réseau à droite de la boîte de dialogue, on clique le circuit dont nous voulons voir les résultats.

Quand nous avons fini, on clique le bouton Fermer pour fermer la boîte de dialogue.

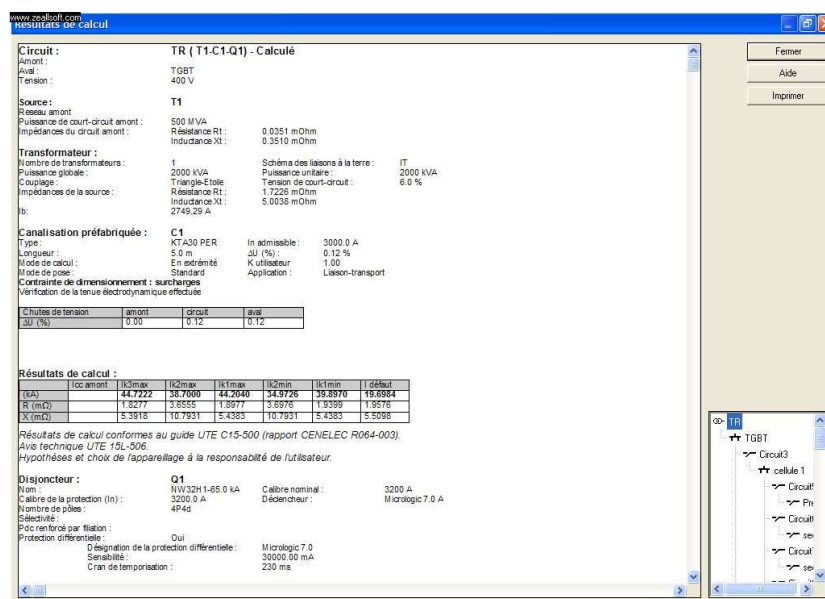


Figure 2.2.4 résultat de calcul du réseau

II .7 . Résultats de calculs :

Pour les résultats de calcul des sections des câbles et des protections du réseau électrique de l'atelier plastique, nous les avons représentés sur les tableaux ci-après :

TGBT- circuit amont- circuits aval

	Transformateur	Départ- C N°1	Départ-C N°2	Départ-C N°3
Design. Disjoncteur	NW 32 H1 4P4D MICR	NS 1250 N T 4P4D MICR	NS 800 N T 4P4D MICR	NS 1000 N T 4P4D MICR
Pouvoir de coupure	65	50	50	50
Mode de pose	Standard	13	13	13
Nb conducteur Ph		2	2	2
S conducteur Ph (mm ²)		400	240	400
S conducteur N (mm ²)		400	240	400
S conducteur PE (mm ²)		400	240	400
Gamme	Masterpact	Compact	Compact	Compact
Icc aval (KA)	44,722	44,722	44,722	44,722
Icc amont (KA)	45,1765	44,7222	44,7222	44,7222
I défaut (KA)	19698,4193	19698,4193	19698,4193	19698,4193
Ib (A)	2749,29	1037,63	715,18	951,79
Calibre (A)	3200	1250	800	1000
Réglage Ir (A)	0,9	0,9	0,9	0,98
Puissance (KW)		646 ,96	445,94	593,46

Tableau 2.2.13 sections et protections pour les circuits aval et amont du TGBT

Cellule N° 1 :

	Départ presse N°1	Départ sécheur matière N°1	Départ sécheur moule N°1	Départ pompe process N°1	Départ chauffe moule N°1
Design. disjoncteur	NS 630 N T 4P4D STR23SE	NS 400 N T 4P4D STR23SE	NS 100 H T 4P4D TM-D	NS 100 H T 4P4D TM-D	NS 100 H T 4P4D TM-D
Pouvoir de coupure	45	45	70	70	70
Mode de pose	13	13	13	13	13
Nb conducteur Ph	1	1	1	1	1
S conducteur Ph (mm ²)	300	120	6	10	10
S conducteur N (mm ²)	300	120	6	10	10
S conducteur PE (mm ²)	150	70	4	10	10
Gamme	Compact	Compact	Compact	Compact	Compact
Icc aval (KA)	44,722	44,722	44,722	44,722	44,722
Icc amont (KA)	44,7222	44,7222	44,7222	44,7222	44,7222
I défaut (KA)	19698,4193	19698,4193	19698,4193	19698,4193	19698,4193
Ib (A)	601,65	296,68	26,46	59,34	48,11
Calibre (A)	630	400	32	63	50
Réglage Ir (A)	0,98	0,93	0,9	1	1
Puissance (KW)	375,14	184,99	16,5	37	30

Tableau 2.2.14 sections et protections pour la cellule N°1

Cellule N°2 :

	Départ presse N°2	Départ sécheur matière N°2	Départ sécheur moule N°2	Départ pompe process N°2	Départ chauffe moule N°2
Design. disjoncteur	NS 630 N T 4P4D STR23SE	NS 400 N T 4P4D STR23SE	NS 100 H T 4P4D TM-D	NS 100 H T 4P4D TM-D	NS 100 H T 4P4D TM-D
Pouvoir de coupure	45	45	70	70	70
Mode de pose	13	13	13	13	13
Nb conducteur Ph	1	1	1	1	1
S conducteur Ph (mm ²)	300	120	10	6	10
S conducteur N (mm ²)	300	120	10	6	10
S conducteur PE (mm ²)	150	70	10	4	10
Gamme	Compact	Compact	Compact	Compact	Compact
Icc aval (KA)	44,722	44,722	44,722	44,722	44,722
Icc amont (KA)	44,7222	44,7222	44,7222	44,7222	44,7222
I défaut (KA)	19698,4193	19698,4193	19698,4193	19698,4193	19698,4193
Ib (A)	519,31	296,68	26,46	59,34	48,11
Calibre (A)	630	400	32	63	50
Réglage Ir (A)	0,93	0,93	1	0,9	1
Puissance (KW)	323,8	184,99	16,5	37	30

Tableau 2.2.15 sections et protections pour la cellule N°2

Cellule N°3 :

	Départ refroidi. N°1	Départ refroidi. N°2	Départ pompes de distributions	Départ pompes d'aliment.	Départ compresseur	Départ prises de courant
Design. Disjoncteur	NS 250 N T 4P4D TM-D	NS 250 N T 4P4D TM-D	NS 100 N T 4P4D TM-D	NS 100 H 4P4D STR22SE	NS 100 N 4P4D STRSE	NS 100 H 4P4DTM-D
Pouvoir de coupure	36	36	25	70	25	70
Mode de pose	13	13	13	13	13	13
Nb conducteur Ph	1	1	1	1	1	1
S conducteur Ph (mm ²)	95	95	25	6	16	2,5
S conducteur N (mm ²)	95	95	25	6	16	2,5
S conducteur PE (mm ²)	50	50	16	6	16	2,5
Gamme	Compact	Compact	Compact	Compact	Compact	Compact
Icc aval (KA)	44,722	44,722	44,722	44,722	44,722	41,064
Icc amont (KA)	44,7222	44,7222	44,7222	44,7222	44,7222	41,0642
I défaut (KA)	19698,4193	19698,4193	19698,4193	19698,4193	19698,4193	15277,0481
Ib (A)	244,76	244,76	89,01	35,28	72,17	11,63
Calibre (A)	250	250	100	40	80	16
Réglage Ir (A)	1	1	0,9	0,9	1	0,8
Puissance (KW)	152,61	152,61	55,5	22	45	7,25

Tableau 2.2.16 sections et protections pour la cellule N°3

Suite cellule N°1 et N°2 :

	Départ convoyeur S-D	Départ doseur N°1
Design. Fusible	gG	gG
Pouvoir de coupure		
Mode de pose	13	13
Nb conducteur Ph	1	1
S conducteur Ph (mm ²)	1,5	1,5
S conducteur N (mm ²)	1,5	1,5
S conducteur PE (mm ²)	2,5	2,5
Gamme		
Icc aval (KA)	41,42	41,42
Icc amont (KA)	41,42	41,42
I défaut (KA)	15,80	15,80
Ib (A)	0,58	4,81
Calibre (A)	2	6
Réglage Ir (A)		
Puissance (KW)	0,36	3

Tableau 2.2.17 sections et protections pour la cellule N°1,2

Suite cellule N° 3

	Pompe d'alimentation	Pompe de distribution	Pompe process	Eclairage	
				gG	gG
Type disjoncteur/fusible	NS 100 H 4P4D STR22SE	NS 100 H 4P4D STR22SE	NS 100 H 4P4D STR22SE	gG	gG
Pouvoir de coupure	70	70	70		
Mode de pose	13	13	13	standard	13
Nb conducteur Ph	1	1	1	1	1
S conducteur Ph (mm ²)	6	10	10	2,5	1,5
S conducteur N (mm ²)	6	10	10	2,5	1,5
S conducteur PE (mm ²)	1,5	4	4	2,5	2,5
Gamme	Compact	Compact	Compact		
Icc aval (KA)	0,548	0,909	0,909	0,172	0,274
Icc amont (KA)	44,7222	44,7222	44,7222	0,1717	0,2744
I défaut (KA)	57,1319	92,4276	92,4276	30,3550	37,3511
Ib (A)	17,64	29,67	29,67	4,23	10,29
Calibre (A)	40	40	40	6	16
Réglage Ir (A)	0,9	0,93	0,93		
Puissance (KW)	11	18,5	18,5	0,88	2,14

Tableau 2.2.18 sections et protections pour la cellule N° 3

A) Description du système

I. Introduction

Les automates sont des machines qui utilisent une ou plusieurs technologies pour mesurer et détecter des signaux physiques (pression, courant, etc.) et commander des pré-actionneurs (électrovannes, relais, etc.) et des actionneurs (vérins, moteurs, etc.). Ces technologies, au nombre de trois sont les suivantes :

- Technologie pneumatique ;
- Technologie électromécanique ;
- Technologie électronique.

II. Les systèmes de production d'énergie

L'emploi de l'énergie pneumatique permet de réaliser des automatismes avec des composants simples et robustes.

II.1. Production d'énergie pneumatique

Elle est assurée par un compresseur animé par un moteur électrique. Ce compresseur intégré est constitué d'un filtre, du système de compression de l'air, d'un refroidisseur-assécheur et d'un dernier filtre. Un réservoir permet de réguler la consommation.

Les figures suivantes (II.1 et II.2) représentent respectivement la production d'énergie pneumatique et le symbole du compresseur intégré.

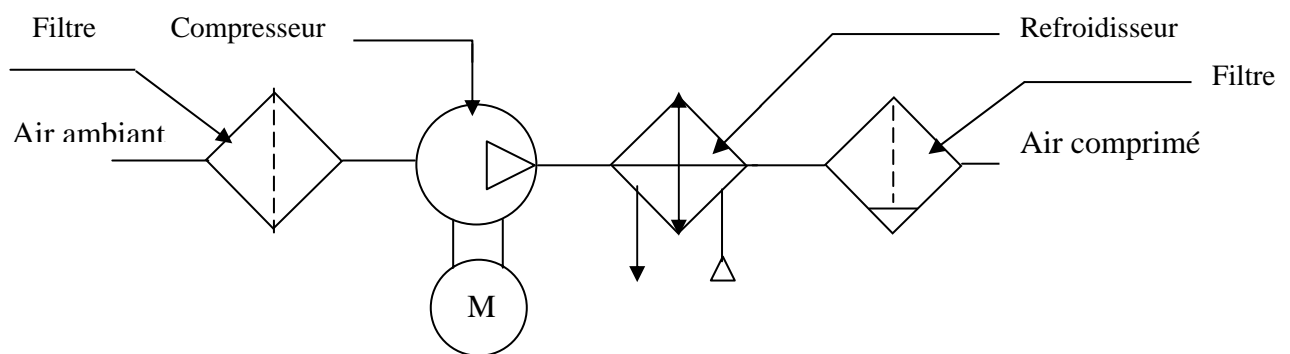


Figure II.2 Symbole du compresseur intégré.

II.1.1. Conditionneur de l'air

L'air atmosphérique est le gaz le plus utilisé comme fluide moteur. Avant d'utiliser l'air, il faut le filtrer, l'assécher, le graisser et réguler sa pression. Ainsi avant chaque SAP (système automatisé de production), on place une unité de conditionnement FRL appelée aussi " tête de ligne " qui fournit l'énergie pneumatique au système (figure II.3). Cette unité est constituée d'un filtre et d'un lubrificateur.

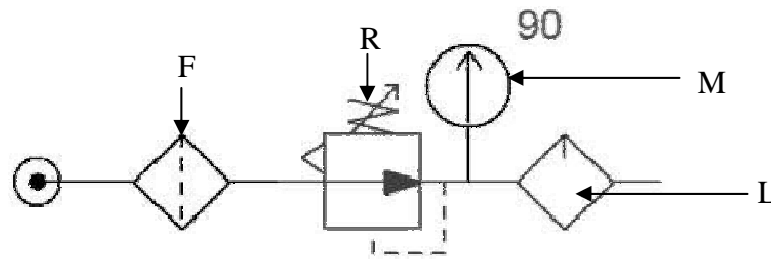
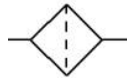


Figure II.3 Unité de conditionnement FRL.

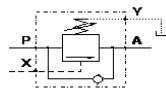
- **Filtre (F)** : Sert à filtrer les poussières et assécher l'air.

Son symbole est :



- **Le mano-régulateur (R)** : Sert à régler la pression d'air.

Son symbole est :



- **Le Manomètre (M)**: Indique la pression existante en certains points du circuit.

Son symbole est :



- **Le lubrificateur (L)** : C'est un pulvérisateur d'huile qui sert à éviter la corrosion et à améliorer le glissement.

Son symbole est :



Le système se met hors ou sous énergie et ce, en utilisant un sectionneur pneumatique qui est une électrovanne de type 3/2 et qui peut être manœuvré manuellement ou électriquement.

III. Définition du système automatisé de production

Un système automatisé de production est un ensemble d'éléments en interactions organisées dans un but précis : agir sur une **matière d'oeuvre** afin de lui donner une **valeur ajoutée**.

Le système automatisé est soumis à des **contraintes** : énergétiques, de configuration, de réglage et d'exploitation qui interviennent dans tous les modes de marche et d'arrêt du système (figure II.6) ;

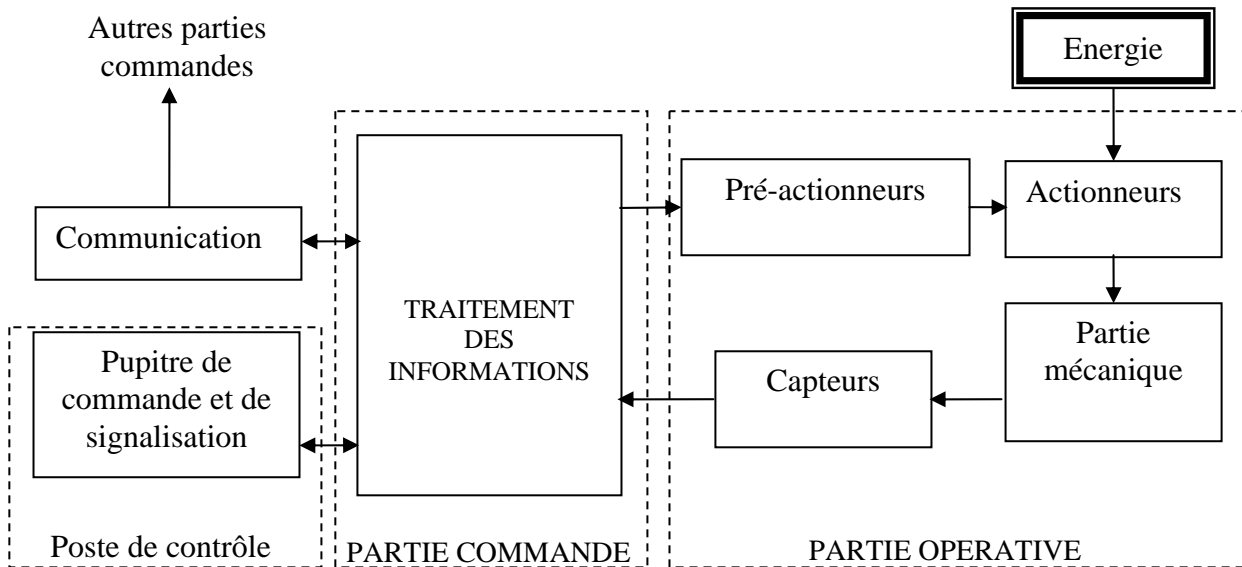


Figure II.6 Structure d'un système automatisé de production. [13]

III.1. La partie opérative (PO)

La partie opérative d'un système automatisé peut être décrite en une ou plusieurs chaînes fonctionnelles, ces dernières comportent une chaîne d'action et une chaîne d'acquisition.

La chaîne d'action est un ensemble organisé de composants dont le rôle est de convertir un ordre émis par la partie commande, en effet, sur la matière d'oeuvre. Elle est constituée de :

- Pré-actionneurs (électrovannes, distributeurs, etc.) ;
- Actionneurs (vérins, moteurs, etc.).

La chaîne d'acquisition est un ensemble organisé de composants dont le rôle est de prélever des grandeurs physiques sur la partie opérative ou sur l'environnement et de les convertir en signaux interprétables par la partie commande. Elle est constituée de Capteurs (de position, de proximité, magnétique, etc.).

III.1.1. Les Pré-actionneurs

Un pré-actionneur est un composant de gestion de l'énergie d'alimentation d'un actionneur, il reçoit l'information de la commande, puis, il délivre en sortie la puissance nécessaire pour l'actionner (figure II.7) ;

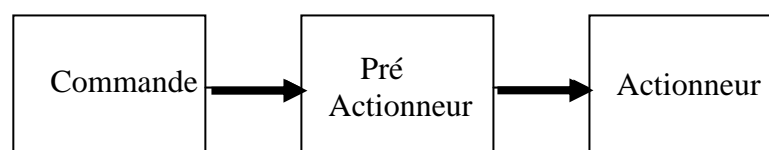


Figure II.7 Etage de puissance. [13]

III.1.1.1. Electrovanne

L'électrovanne est constituée d'une bobine électromagnétique et d'un robinet d'air. Les vannes (simples et doubles étages) qui seront installées sur le procédé selon le cahier des charges, sont des vannes pneumatiques. C'est donc une pression d'air qui leur permet de bloquer ou de libérer la canalisation. (figure II.8) ;



Figure II.8 Illustration d'une Electrovanne.

III.1.1.2. Les distributeurs

Les distributeurs font partie de la famille des pré-actionneurs. Ils sont les constituants de la chaîne d'action qui permettent, à partir d'un ordre de la partie commande, de distribuer l'énergie de puissance aux actionneurs. Les distributeurs distribueront de l'énergie pneumatique aux vérins associés.

a). Principe de fonctionnement

Ils ont pour fonction essentielle de distribuer le fluide dans des canalisations qui aboutissent aux chambres des vérins.

III.1.1.3. Le contacteur

Le contacteur est un appareil mécanique de connexion ayant une seule position repos, commandé autrement qu'à la main, capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris les conditions de surcharge en service. Un contacteur dont les contacts principaux sont fermés dans la position de repos est appelé rupteur. Il se compose d'une bobine qui est l'organe de commande, de contacts principaux et de contacts auxiliaires.

Les contacts de puissance

Ce sont eux qui sont chargés d'établir le circuit électrique. Ils comprennent une partie fixe et une partie mobile. La partie mobile est équipée de ressorts qui provoquent l'ouverture du contacteur à la mise hors tension. (figure II.15) ;

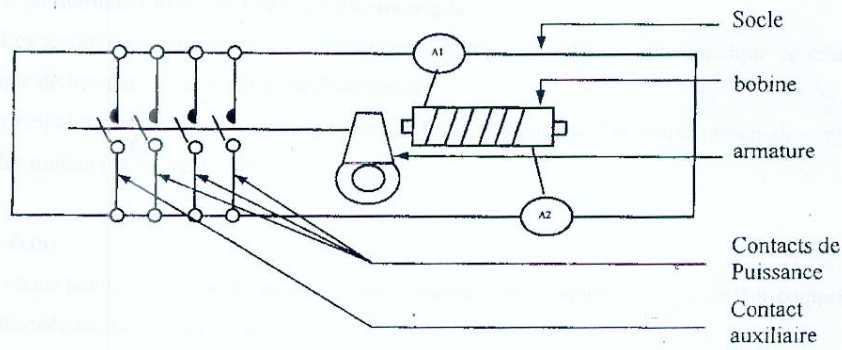


Figure II.15 Schéma d'un contacteur.

c). Le principe de fonctionnement

- Lorsque la bobine est alimentée, le contacteur se ferme et établit le circuit entre le réseau d'alimentation et le récepteur.
- Lorsque la tension (A1.A2) est supprimée, les contacts reviennent à la position initiale par l'action d'un ressort de rappel.

III.1.2. Les actionneurs

Dans un dispositif d'assistance ou d'un système de commande à distance (semi automatique ou automatique), un actionneur est un organe de la partie opérative qui reçoit un ordre de la partie commande via un éventuel pré-actionneur, convertit l'énergie qui lui est fournie en un travail utile à l'exécution de tâches, éventuellement programmées d'un système automatisé

III.1.2.1. Différents types d'actionneurs

- Un vérin pneumatique est un actionneur. L'énergie est fournie par fluide comprimé par un compresseur (pneumatique), via un distributeur ;
- Un moteur électrique ou une résistance chauffante fonctionnant grâce à une alimentation électrique par un relais ou un interrupteur.

III.1.2.1.1. Actionneurs utilisant l'énergie pneumatique

Tous les appareils qui transforment l'énergie pneumatique en énergie mécanique sont des actionneurs. La plupart des usines utilisent l'énergie pneumatique pour accomplir un travail, soit, avec des outils portatifs ou avec des actionneurs.

a). Les vérins

Les vérins permettent de déplacer des masses pour les positionner dans le but de réaliser des systèmes automatiques. L'énergie peut être l'air comprimé. Ils sont pilotés par des distributeurs. Comme vérin, on trouve principalement des vérins à simple effet ou à double effet.

a.1. Le vérin pneumatique

Est utilisé avec de l'air comprimé entre 2 et 10 bars dans un usage courant. Simple à mettre en œuvre, il est très fréquent dans les systèmes automatisés industriels.

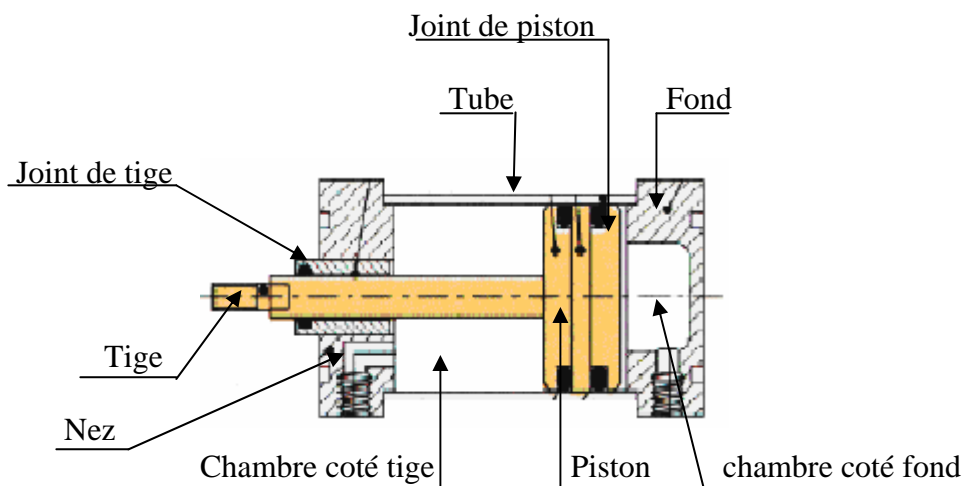
a.2. Constitution d'un vérin

Les vérins sont généralement constitués d'un **piston** et d'une **tige** se déplaçant librement à l'intérieur d'un **cylindre** (figure II.17) ;

Pour faire sortir la tige, il faut appliquer une certaine pression sur la face avant du piston, et sur la face arrière pour faire rentrer la tige.

Dans notre système, il existe des vérins à double effet

Figure II.17 Vue en coupe d'un vérin



a.2.2. Vérins à double effet (VDE)

Un vérin double effet a deux directions de travail. Il comporte deux orifices d'alimentation et la pression est appliquée alternativement de chaque côté du piston, ce qui entraîne son déplacement dans un sens, puis dans l'autre (figure II.19) ;

L'effort en poussant (sortie de la tige) est plus grand que l'effort en tirant (entrée de la tige) car la pression n'agit pas sur la partie de surface occupée par la tige.

Les vérins sont souvent équipés d'amortisseurs de fin de course qui évitent les chocs du piston.

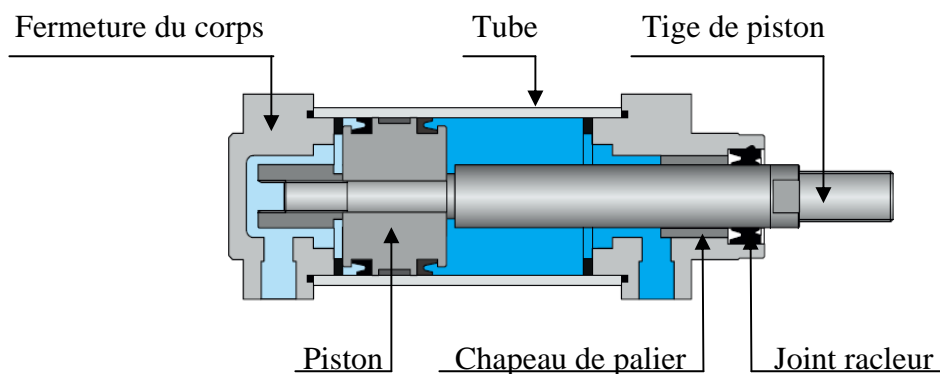


Figure II .19 Vérins à double effet.

III.1.2.1.2. Actionneurs utilisant l'énergie électrique

On trouve plusieurs types d'actionneurs électriques, dans notre système étudié, Il s'agit des moteurs asynchrones triphasés à cage .

Il se caractérise par :

- Absence de contacts glissants ;
- C'est le moteur le plus employé : 80% des applications ;
- Simple à construire ;
- Moteur robuste par construction ;
- Moteur de petites puissances.

a). Moteurs asynchrones

Les machines sont généralement entraînées par des moteurs asynchrones, alimentés en courant alternatif triphasé, monophasé, ou diphasé. Ils sont d'une grande robustesse et d'un prix de revient faible avec très peu d'entretien.

Le moteur asynchrone est un organe transformant l'énergie électrique apportée par le courant alternatif monophasé ou triphasé, en énergie mécanique. Ils sont constitués de deux parties bien distinctes ; le stator et le rotor.

a.1. Constitution d'un moteur asynchrone

Le moteur asynchrone triphasé à cage est composé de :

Un stator : il ne tourne pas (partie immobile) et il contient les bobinages triphasés ;

Un rotor : partie tournante (partie mobile) contenant des bobinages en court-circuit ;

Un entrefer : espace entre stator et rotor.

La figure II illustre un moteur asynchrone ;



Figure II.20 Illustration d'un Moteur asynchrone.

a.2. Principe de fonctionnement

Il fonctionne avec une tension alternative triphasée, il peut avoir deux sens de rotation, il peut être branché en étoile ou en triangle. Son circuit de commande comporte une protection contre les courts-circuits par fusible et un relais thermique contre la surchauffe, ainsi, un contacteur pour la commande.

Le fonctionnement du moteur asynchrone repose sur le synchronisme entre la vitesse du rotor (induit) et celle du champ du stator (inducteur). Le démarrage nécessitant l'établissement préalable de ce synchronisme. Le couple de démarrage des moteurs asynchrones est faible.

❖ Les différents moteurs existant dans la nacelle

- M1 : convoyeur vertical;
- M2 : convoyeur horizontal ;
- M3 : ventilation droit;
- M4 : ventilation gauche ;
- M5 : convoyeur box 1 ;
- M6 : convoyeur box 2 ;

III.1.3. Les Capteurs

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle. Les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande. Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique, on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de nature électrique ou pneumatique. Dans les systèmes automatisés séquentiels, la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numérique (valeur discrète), ou analogique. Dans ce cas, il faudra adjoindre à la partie commande, un module de conversion analogique numérique.

❖ On peut caractériser les capteurs selon deux critères:

- En fonction de la grandeur mesurée. On parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, de pression, etc. ;
- En fonction du caractère de l'information délivrée. On parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR).

Différents types de capteurs dans notre système :

a). Capteur de position

Les capteurs de position sont des capteurs à contact. Ils peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. L'information donnée par ce type de capteur est de type tout ou rien et peut être électrique ou pneumatique.

Les capteurs de ce type existant déjà dans notre système étudié sont :

C2VNB1 : détecte que le vérin nacelle en bas ;

C1VNH1 : détecte que le vérin nacelle en haut ;

C1VNH2 : détecte que le vérin nacelle en haut ;

C2VNB2 : détecte que le vérin nacelle en bas ;

Les capteurs de ce type ajoutés à notre système sont :

CSV1P1 : détecte que le vérin 1 en bas ;

CSV2P1 : détecte que le vérin 2 en bas ;

CEV1P2 : détecte que le vérin 1 en haut ;

CSV2P2: détecte que le vérin 2 en haut ;

b). Capteur optique

Un capteur photoélectrique est un capteur de proximité. Il se compose d'un émetteur de lumière associé à un récepteur.

La détection d'un objet se fait par coupure ou variation d'un faisceau lumineux. Le signal est amplifié pour être exploité par la partie commande (figure II.26) ;

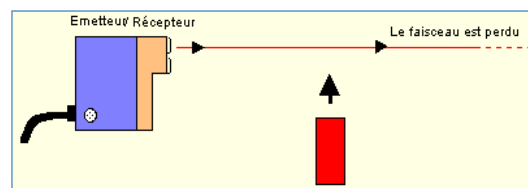


Figure II.26 Système proximité.

On a introduit des capteurs de ce type à notre système :

C1box1 : détecte le box1 à l'intérieure de la machine ;

C2box1 : détecte le box1 à l'extérieure de la machine;

C1box2 : détecte le box2 à l'intérieur de la machine ;

C2box2 : détecte le box2 à l'extérieur de la machine ;

c). Capteur ultrason

C' est un capteur de proximité et analogique. Il se compose d'un émetteur d'ultrason associé à un récepteur.

La détection d'un objet se fait par coupure ou variation d'une onde ultrasonore. Le signal est amplifié pour être exploité par la partie commande.

Dans notre système existe un capteur de type ultrason de proximité et analogique.

III.2. Partie commande (PC)

La Partie Commande d'un système isolé est un ensemble de composants et de constituants de traitement de l'information, destiné à:

- Coordonner la succession des actions sur la Partie Opérative ;
- Surveiller son bon fonctionnement ;
- Gérer les dialogues avec les intervenants ;
- Gérer les communications avec d'autres systèmes ;
- Assurer le traitement des données et des résultats relatifs au procédé, aux matières d'œuvre, aux temps de production et à la consommation énergétique (la gestion technique).

La figure II.27 suivante illustre la partie commande dans un système automatisé ;

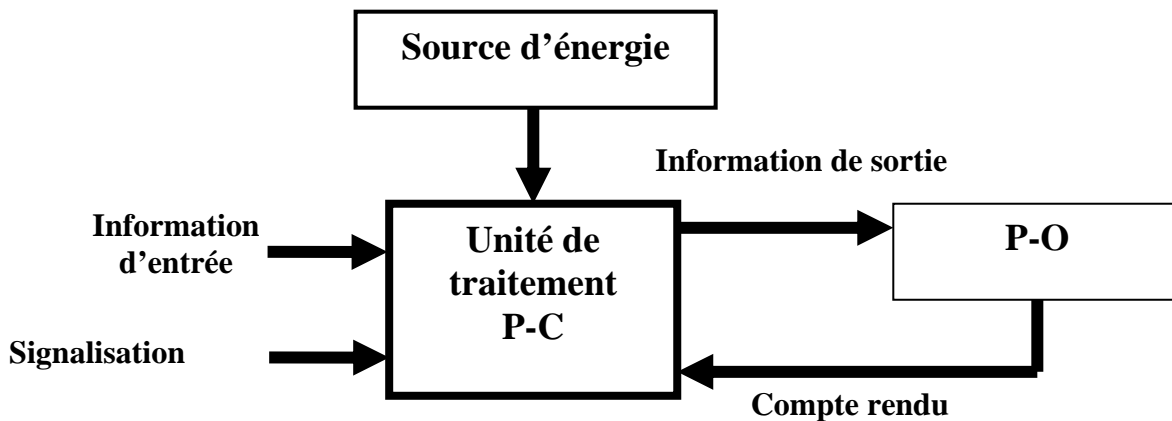


Figure II.27 La Partie commande (PC) dans un système automatisé.

III.2.1. Le Poste de contrôle

Composé des pupitres de commande et formé de deux parties :

- Une partie comportant les différents accessoires de commande (boutons et sélecteurs) ;
- Une partie comportant les différents voyants lumineux témoignant les différents états de fonctionnement.

a). Boutons et sélecteurs

Les boutons poussoirs et les sélecteurs permettent aux opérateurs de donner des signaux de commande à l'automatisme. Ils existent en plusieurs versions. Les boutons poussoirs peuvent être momentanés ou à enclenchement. Un interrupteur momentané exige que l'opérateur appuie sur le bouton tant qu'il désire que le contact soit activé. Dans le cas d'un interrupteur à enclenchement, l'opérateur doit appuyer sur le bouton à deux reprises.

BPbox1S1 : bouton poussoir pour faire entrer le box1 dans la machine;

BPbox1S2 : bouton poussoir pour faire sortir le box1 de la machine;

BPbox2S1 : bouton poussoir pour faire entrer le box2 dans la machine;

BPbox2S2: bouton poussoir pour faire sortir le box2 de la machine;

VJA: voyants lumineux de couleur jaune;

AU : arrêt d'urgence ;

INIT : initialisation ;

Sel 1 : alimentation de la commande ;

IV. Procédure de mise en marche et d'arrêt**a) Mise en marche**

- Sel 1 sur la position (on) qui est la mise sous tension de la commande ;

b) Arrêt

- Passer le sel 1 sur (off).

c) Arrêt d'urgence

- Impulsion sur le bouton coup de poing (arrêt d'urgence).

B) Modélisation du système

I. Introduction

L'analyse des problèmes posés par la conception des automatismes numériques et l'étude de bien d'autres disciplines économiques, scientifiques ou de gestion ont créé des méthodes très précises au niveau de raisonnement telles que les organigrammes, les graphes cartésiens, les réseaux de pétri et le Grafcet.

Décliné en plusieurs niveaux, à la fois outil de modélisation et support pour la programmation, le Grafcet garantit aujourd'hui la transmission correcte des informations entre toutes les parties prenantes d'un projet d'automatisme ; de la spécification à l'exploitation et à la maintenance en passant par la réalisation.

II. Historique

Le Grafcet est le résultat de travail bénévole d'une commission réunissant l'AFCECET (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique) et l'ADEPA (Agence pour le Développement de la Productique Appliquée à l'industrie) ; des industriels et des universitaires. Ce travail est achevé en avril 1977.

Dès 1978, le Grafcet fait son entrée dans l'éducation Nationale. Il est maintenant le pilier du programme d'Automatique et d'Informatique Industrielle. D'autres outils complémentaires du Grafcet ont été créés, le Guide d'Etude des Modes de Marche et d'Arrêt, les Techno guides, puis les chaînes fonctionnelles.

En 1985, SIEMENS (leader européen des automatismes) adopte le Grafcet et le promeut en Allemagne, et en 1986, ALLEN & BRADLEY (leader mondial des automates programmables) adopte et développe le Grafcet, y compris pour le marché américain.

Depuis 1988, le Grafcet est un outil de description normalisé (Norme C.E.I. 848) qui fonctionne en logique séquentielle. Un outil simple mais extrêmement puissant qui permet les représentations fonctionnelles, opérationnelles et technologiques de la plupart des automatismes industriels.

III. Définitions et notions fondamentales

III.1. Définition du Grafcet

L'acronyme Grafcet signifie : Graphe Fonctionnel de Commande Etape-Transition. Le Grafcet est un diagramme fonctionnel dont le but est de décrire graphiquement suivant un cahier des charges, les différents comportements de l'évolution d'un automatisme séquentiel. [11]

Le terme « GRAFCET » ou « Grafcet » sera utilisé pour parler du langage ou du modèle. Le terme « grafcet », désignera quand à lui des spécifications ou des programmes écrits en Grafcet.

La description du fonctionnement d'un automate logique peut alors être représentée graphiquement par un ensemble :

- D'étapes auxquelles sont associées des actions ;
- De transitions auxquelles sont associées des réceptivités ;
- De liaisons ou (arcs) orientées.

La figure III.1 illustre les éléments du Grafcet ;

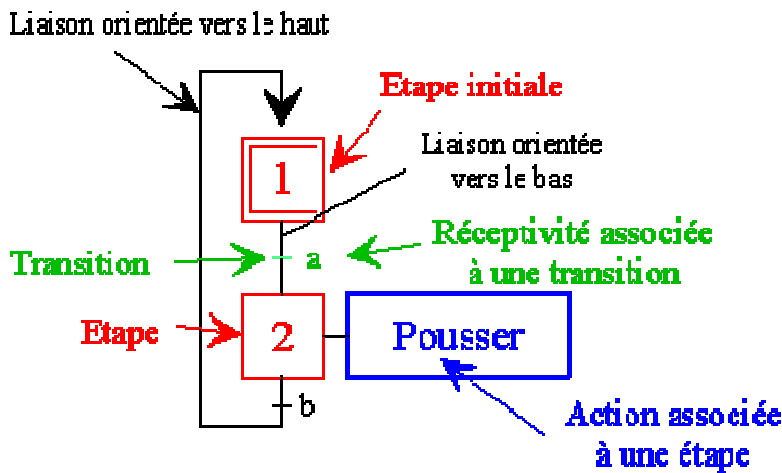


Figure III.1 Eléments de Grafcet. [11]

III.2. Structure graphique du GRAFCET

La structure de GRAFCET est un graphe cyclique composé alternativement d'étapes et de transitions, reliées entre elles par des liaisons orientées et des actions qui peuvent être associées aux différentes étapes. Un grafcet se lit de haut en bas. Si cette syntaxe n'est pas scrupuleusement respectée, il y aura obligatoirement une erreur dans l'application .

III.2.1. L'étape

Une étape représente un état particulier du système à un moment donné de son cycle de fonctionnement. En principe, pendant une étape, les organes de commande ne changent pas d'état.

- L'étape est représentée par un carré repéré par une variable alphanumérique.
- Une étape peut être active ou inactive. Toutefois, on met un point à l'intérieur du symbole de l'étape pour signifier que celle-ci est active (figures III.2 et III.3) ;

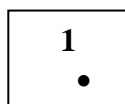


Figure III.2 Une étape active.

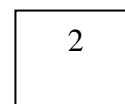


Figure III.3 Une étape inactive.

a). Etape initiale

Est l'étape qui est active au moment de la mise en marche du système (situation initiale), elle est représentée par un double carré (figure III.4) ;

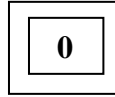


Figure III.4 Une étape initiale.

b). Etape source / Etape puit

Une étape est appelée "étape source" si elle n'est pas reliée en amont à une transition. De la même façon, une étape est appelée "étape puit" si elle n'est pas reliée en aval à une transition (figures III.5 et III.6) ;

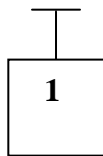


Figure III.5 Une étape source.

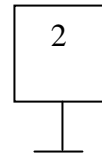


Figure III.6 Une étape puit.

III.2.2. Actions associées à l'étape

A chaque étape, on peut associer une ou plusieurs actions, une action peut être associée à plusieurs étapes.

Les actions sont produites tant que les étapes auxquelles sont associées sont actives. On définit :

- **Action continue** : l'action est produite tant que l'étape à laquelle elle est associée est active ;
- **Action conditionnelle** : est une action qui dure tant que l'étape concernée est active et la condition logique associée est vraie ;
- **Action temporisée** : c'est une action conditionnelle dont laquelle le temps intervient comme une condition logique, elle est obtenue par l'utilisation d'une unité de temporisation (Temporisateur) ;
 - **Action impulsionnelle** : même principe que l'action temporisée, sauf dans ce cas, l'action est active pendant la durée d'impulsion générée par le Temporisateur T ;
 - **Action maintenue** : c'est une action associée à plusieurs étapes.

III.2.3. Transitions

Une transition indique la possibilité d'évolution d'une étape à l'étape suivante. A chaque transition, on associe une ou des conditions logiques (booléennes) qui traduisent la notion de réceptivité.

III.2.4. Réceptivité

La réceptivité est une fonction combinatoire d'informations booléennes telles que :

- ✓ Etats des capteurs ;
- ✓ Impulsion sur un bouton poussoir ;
- ✓ Action d'un Temporisateur, d'un compteur ;
- ✓ Etat actif ou inactif d'autres étapes, etc..

Il existe deux cas particuliers :

a). Temporisation

Pour faire intervenir le temps dans une réceptivité, il suffit d'indiquer après le repère "T" son origine et sa durée. L'origine sera l'instant de début de l'activation de l'étape déclenchante ou sur un état logique de variable (capteur).

La notation T/14/5 signifie que la réceptivité sera vraie 5 secondes après l'activation de l'étape repérée 14. La notation normalisée s'écrit T/X14 /5s. La base de temps par défaut est la seconde.

b). Réceptivité toujours vraie

Une telle réceptivité s'écrit "= 1". Le franchissement de cette transition se fera dès que la ou les étapes immédiatement antérieures seront actives sans autre condition.

III.2.5. Liaisons orientées

Les liaisons indiquent les voies d'évolution du grafcet. Dans le cas général, les liaisons qui se font du haut vers le bas ne comportent pas de flèches. Dans les autres cas, on peut utiliser des flèches pour préciser l'évolution du grafcet en cas de risque de confusion.

IV. Syntaxe et règles d'évolution

IV.1. Syntaxe

- L'alternance étape-transition et transition-étape doit être respectée quelle que soit la séquence parcourue.
- Deux étapes ou deux transitions ne doivent jamais être reliées par une liaison orientée. La liaison orientée relie toujours une étape à une transition ou une transition à une étape.

IV.2. Règles d'évolution

Le Grafcet fonctionne en suivant 5 règles d'évolution :

Règle N°1 : Situation initiale

L'initialisation précise l'étape ou les étapes actives au début du fonctionnement. On la repère en doublant les côtés des symboles correspondants. Il peut y avoir plusieurs étapes initiales dans un grafcet. Les étapes initiales sont activées inconditionnellement en début de cycle.

Règle N°2 : Franchissement d'une transition

Une transition est soit franchissable, soit infranchissable. Elle est franchie lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Elle ne peut être franchie que lorsqu'elle est validée, et que la réceptivité associée est vraie.

Règle N°3 : Evolution des étapes actives

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation simultanée de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes.

Règle N°4 : Evolution simultanée

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

Règle N°5 : Activation et désactivation simultanée d'une étape

Si au cours du fonctionnement, une même étape doit être activée et désactivée simultanément, elle reste active.

V. Les règles de construction d'un Grafcet**V.1. Convergence en ET**

Si plusieurs étapes doivent être reliées vers une même transition, alors on regroupe les arcs issus de ces étapes à l'aide d'une double barre horizontale appelée « **convergence en ET** ».

La figure III.8 montre que le Grafcet converge vers une même étape qui est l'étape 3 à partir des étapes 1 et 2 ;

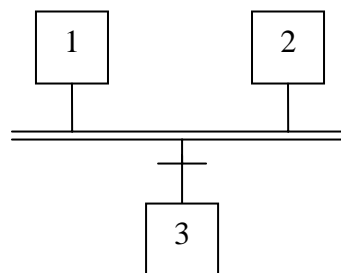


Figure III.7 Convergence en ET.

V.2. Divergence en ET

Si plusieurs étapes doivent être issues d'une même transition, alors on regroupe les arcs à l'aide d'une double barre horizontale appelée « **divergence en ET** ». La figure III.9 montre que lorsque la transition est franchie les étapes 2 et 3 sont active simultanément ;

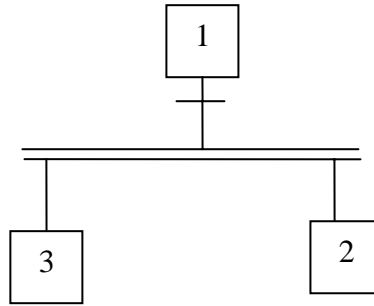


Figure III.8 Divergence en ET. [11]

V.3. Convergence en OU

Si plusieurs transitions sont reliées à une même étape, on regroupe les arcs par un simple trait horizontale et on parle de « **convergence en OU** ». La figure III.10 montre que le Grafcet converge vers une même étape 3 lorsque les deux transitions sont franchies ;

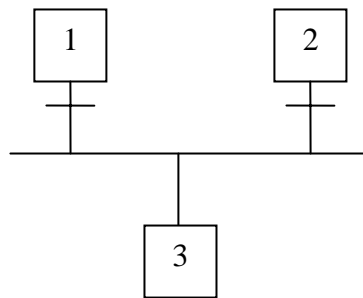


Figure III.9 Convergence en OU. [11]

V.4. Divergence en OU

Si plusieurs transitions sont issues d'une même étape, on regroupe les arcs par un simple trait horizontale et on parle de « **divergence en OU** ». La figure III.11 montre que le Grafcet à partir de l'étape 1 permet une alternance entre l'étape 2 et 3 ;

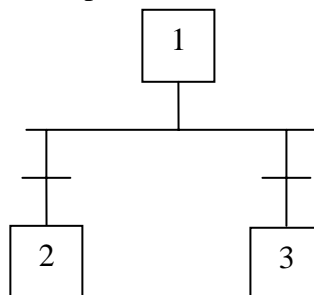


Figure III.10 Divergence en OU. [11]

V.5. Saut d'étapes

Le saut d'étapes permet de sauter une ou plusieurs étapes, lorsque les actions associées à ces étapes deviennent inutiles.

V.6. Reprise de séquence

La reprise de séquence permet de reprendre une séquence lorsque les actions à réaliser sont répétitives.

- Dans la figure III.12, si la réceptivité « e » est vraie, alors les étapes 11 et 12 ne se produisent pas, la prochaine étape active est l'étape 13 ;

- La reprise de séquence représentée dans la figure III.13 permet de reprendre la séquence qui comporte les étapes 2 et 3 une ou plusieurs fois tant que la condition « h » n'est pas obtenue et la condition « i » est toujours vraie ;

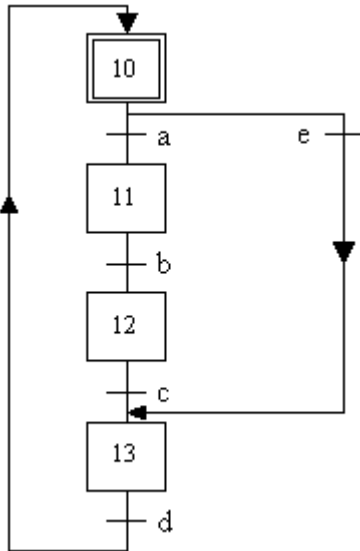


Figure III.11 Saut d'étapes. [11]

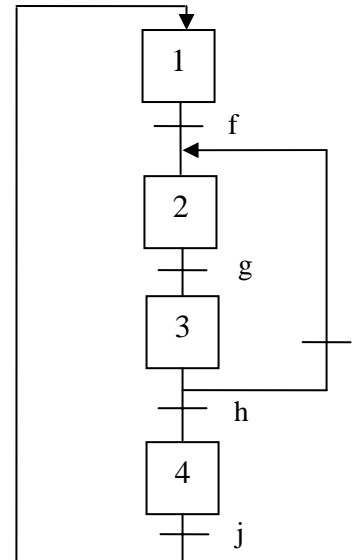


Figure III.12 Reprise de séquence. [11]

VI. Niveau du GRAFCET

VI.1. Grafcet niveau 1

Il décrit le comportement de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative, c'est le rôle des spécifications fonctionnelles permettant au concepteur de comprendre ce que l'automatisme doit faire face aux différentes situations pouvant se présenter. A ce niveau, on définit uniquement les fonctions, les informations et les commandes impliquées dans l'automatisation de la partie opérative du système automatisé.

VI.2. Grafcet niveau 2

Il ajoute aux exigences fonctionnelles, les précisions indispensables aux conditions de fonctionnement des matériels, grâce aux spécifications technologiques et opérationnelles en tenant compte de :

- L'aspect fonctionnel du cahier des charges ;
- La technologie de la partie commande et de la partie opérative ;
- La nature des capteurs utilisés ainsi le mode de traitement de l'information.

VII. Mise en équations du Grafcet

Dans un Grafcet, chaque étape porte son propre numéro. Lorsque on désigne une étape, on fait précéder ce numéro de la lettre X majuscule. La figure III.14 montre un exemple de Grafcet.

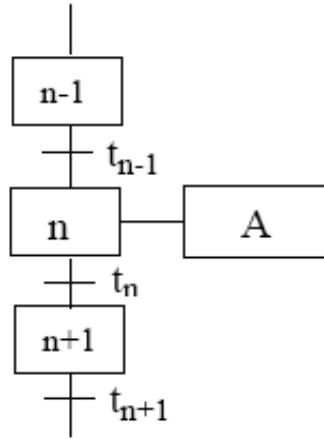


Figure III.13 Exemple de Grafcet. [12]

L'état d'une étape X_n peut être notée comme suit :

$X_n = 1$ si l'étape n est active ;

$X_n = 0$ si l'étape n est inactive.

Ainsi, une réceptivité est notée t_n , telle que :

$t_n = 1$ si la réceptivité est vraie ;

$t_n = 0$ si la réceptivité est fausse.

En tenant compte de la deuxième et de la troisième règle d'évolution du Grafcet, nous pouvons déduire :

➤ Condition d'activation d'une étape (CAX_n) :

$$CAX_n = X_{n-1} * t_{n-1} \quad (3.1)$$

➤ Condition désactivation d'une étape (CDX_n) :

$$CDX_n = X_{n+1} \quad (3.2)$$

➤ L'action associée à une étape (A) :

$$A : X_n \quad (3.3)$$

• L'équation logique d'une étape est :

$$X_n = CAX_n + X_n * \overline{CDX_n} \quad (3.4)$$

En tenant compte du mode de marche / arrêt et les arrêts d'urgences : Arrêt d'Urgence Dur (AUDur) et Arrêt d'Urgence Doux (AUDoux) telles que :

Init = 1 : initialisation du Grafcet (mode arrêt) ;

Init = 0 : déroulement du cycle (mode marche) ;

AUDur = 1 : désactivation de toutes les étapes ;

AUDoux = 1 : désactivation des actions, les étapes restent actives.

- Les conditions d'activation et désactivation d'une étape deviennent alors :

➤ Pour une étape initiale :

$$CAX_n = (X_{n-1} * t_{n-1} + Int) * \overline{AUDur}. \quad (3.5)$$

$$CDX_n = X_{n+1} * \overline{Init} + AUDur. \quad (3.6)$$

➤ Pour une étape non initiale :

$$CAX_n = X_{n-1} * t_{n-1} * \overline{Init} * \overline{AUDur}. \quad (3.7)$$

$$CDX_n = X_{n+1} + \overline{Init} + \overline{AUDur}. \quad (3.8)$$

• L'équation logique d'une étape devienne :

➤ Pour une étape initiale : $X_n = (CAX_n + X_n * \overline{CDX_n} + \overline{Init}) * \overline{AUDur}. \quad (3.9)$

➤ Pour une étape non initiale : $X_n = (CAX_n + X_n * \overline{CDX_n}) * \overline{Init} * \overline{AUDur}. \quad (3.10)$

➤ Pour une action A :

$$A : X_n * \overline{AUDoux}. \quad (3.11)$$

- La mise en équation du Grafcet, nous permet le passage de l'étape de modélisation à l'étape de programmation.

VIII. Application du Grafcet au procédé

Après l'étude du système à automatiser et après avoir identifié les différentes réceptivités ainsi que les différentes actions, le cahier des charges décrit au premier chapitre est modélisé sous forme de Grafcet niveaux 1 et 2.

Les abréviations utilisées dans le Grafcet niveau 2 pour les deux machines ; les réceptivités ainsi que les actions sont représentées en annexe A.

V. Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons étudié et présenté les différents composants utilisés en prenant des moyens disponibles au sein de l'atelier plastique. La réussite et la performance d'une installation automatique pilotée par l'automate programmable industriel (API) repose essentiellement sur une bonne compréhension de l'installation et de la qualité des actionneurs et capteurs qu'elle comporte. Pour comprendre plus précisément le fonctionnement automatique du processus, c'est-à-dire, l'interaction entre la partie commande et la partie opérative et pour développer une solution de conduite programmable, la modélisation de ce cycle s'avère nécessaire.

I. Bref historique

Les automates programmables industriels sont apparus aux Etats-Unis vers 1969, ils étaient destinés à l'origine à automatiser les chaînes de montages automobiles, c'est en 1971 qu'ils furent leur apparition en France. Du fait de l'évolution des microprocesseurs, des mémoires et des périphériques, les automates sont de plus en plus employés dans toutes les industries dont ils assurent des fonctions plus complexes. Exemple : la régulation des systèmes.

II. Introduction

Dans les systèmes de traitement de l'information, les API occupent une place de choix, les équipements notés « commande » sont souvent des automates, remplaçant initialement des ensembles en technologie câblée (relais électromagnétiques, composants pneumatiques), ils constituent de plus en plus le maillon fiable et efficace entre le calculateur qui a plutôt un rôle de gestion et l'appareillage de terrain (capteurs et actionneurs). Cet appareillage pouvant lui-même aujourd'hui contenir un processeur. [13]

III. Automate programmable industriel

III.1. Définition

L'automate programmable industriel est un système électronique de traitement logique d'informations dont le programme de fonctionnement est effectué à partir d'instructions établies en fonction du processus à réaliser. C'est un système informatique dédié aux applications d'automatisme.

L'automate et ses périphériques associés sont conçus pour pouvoir facilement s'intégrer à un système d'automatisme industriel et être facilement utilisés dans toutes leurs fonctions prévues. [13]

III.2. API dans son environnement

III.2.1. Rôle de commande

Il est un composant d'automatisme, élaborant des actions, suivant une algorithmique appropriée, à partir des informations que lui fournissent des détecteurs Tout ou Rien, des capteurs analogiques ou bien numériques.

III.2.2. Rôle de communication

- avec des opérateurs humains : C'est le dialogue d'exploitation.
- avec d'autres processeurs, hiérarchiquement supérieurs (calculateur de gestion de production), rangs égaux (autres automates intervenant dans la même chaîne) ou rangs inférieurs (instrumentation intelligente).

III.2.3. Outils de communication

Ce sont essentiellement :

- des éléments de saisie d'informations, à savoir les boutons poussoirs, les inverseurs, claviers numériques ou hexadécimaux, etc. ;
- des éléments transmettant des informations à savoir les voyants, alarmes sonores, afficheur sept segments, etc. ;

Il s'agit là, d'outils simples et robustes, mais limités à une faible quantité d'informations. Il existe des outils plus élaborés tels que :

- Les afficheurs à circuits spécialisés, qui servent de boîtes à messages pour des avertissements, des informations sur le déroulement de la production, etc. ;
- les périphériques informatiques, par exemple les imprimantes ;
- la supervision dont le rôle dépasse la communication entre l'API et l'opérateur, car il concerne l'ensemble du système automatisé de production.

III.2.4. Insertion de l'automate dans un procédé

L'automate programmable est inséré dans un procédé pour le commander tout en réalisant les fonctions suivantes :

a). Acquisition des données

Elle est réalisée à partir des capteurs situés sur le site. Ces capteurs mesurent les grandeurs physiques à surveiller qui servent à élaborer les commandes et délivrent des signaux transformés en signaux électriques normalisés transmis à l'automate programmable.

b). Traitement des données

Les données reçues, à partir du dispositif assurant le dialogue homme-machine et les capteurs, sont traitées suivant un programme. Des commandes sont synthétisées. Ces commandes sont appliquées à travers les modules de sorties de l'automate qui peut aussi assurer des tâches de surveillance et de gestion des alarmes.

c). Dialogue homme-machine

Il est assuré via les organes de dialogue (console de programmation et de réglage, clavier, etc.) afin de superviser notamment les fonctions réalisées par l'automate.

d). Commande de puissance

Les pré-actionneurs reçoivent depuis l'automate les signaux de commande et les utilisent pour mettre en œuvre les actionneurs correspondants.

La figure IV.I illustre l'automate et son environnement ;

- Modification du nombre et la nature des composants dans l'armoire électrique ;
- Un coût assez élevé (main d'œuvre, composants).

Malgré les inconvénients multiples de la solution câblée, cependant, elle présente quelques avantages à savoir :

- ✓ Une technologie simple ; connue et maîtrisée ;
- ✓ La conception, la réalisation et la maintenance de ces installations ne nécessitent pas une formation spécifique.

IV.2. La solution programmée

Utilisation des automates programmables, elle est très sollicitée vu ces différents avantages qu'elle présente, d'où on cite :

- ✓ Réduction d'encombrement des composants dans l'armoire électrique malgré la complexité de l'installation ;
- ✓ La main d'œuvre est réduite lors du câblage ;
- ✓ Facilité de détecter les anomalies produites ;
- ✓ Terminal de programmation peut être commun à plusieurs automates ;
- ✓ Dialogue avec l'installation (terminal de programmation, imprimante) ;
- ✓ Suppression de certaines tâches pénibles, fatidiques, nocives pour l'homme.

Cependant, la solution programmée présente quelques inconvénients à savoir :

- Le coût de la réalisation reste élevé même si le fonctionnement du procédé est simple ;

V. Choix d'un type d'API

Le choix d'un automate est tributaire du système à automatiser, donc il revient à l'utilisateur d'établir le cahier des charges de son procédé et distinguer l'automate le mieux adapté aux besoins en tenant compte notamment d'un nombre de critères importants :

- La capacité de traitement du processeur (vitesse de transmission des données) ;
- La richesse de la gamme ;
- La fiabilité et la robustesse ;
- Le nombre d'entrées / sorties ;
- La nature des entrées / sorties (numériques, analogiques) ;
- la nature du traitement (temporisation, comptage) ;
- Le pouvoir de communiquer avec d'autres systèmes ;
- L'immunité aux parasites (champs électro-magnétique, baisse de tension, pic de tension) ;
- Modules spéciaux ; certains modules constituent une aide pour le processeur en calcul dans le but de sécuriser le traitement ;

VI. Présentation de l'automate S7-300

L'automate programmable industriel S7-300 est un appareil électronique destiné à la commande et à la surveillance en temps réel des processus industriels. Le S7-300 est un automate modulaire de moyenne de gamme. SIMATIC S7 désigne un produit de la société SIEMMENS.

La figure IV.3 illustre une photo réelle d'un S7-300 ;



Figure IV.2 L'automate S7-300. [13]

VI.1. Caractéristiques du S7-300

L'automate S7-300 présente les caractéristiques suivantes :

- ✓ Gamme diversifiée de la CPU ; le module unité centrale disponible en différentes versions ;
- ✓ Le S7-300 peut être configuré avec un maximum de 32 modules de signaux et de communications, donc possibilité d'exécution jusqu'à 32 modules ;
- ✓ Bus de fond de panier intégré aux modules et les liaisons entre les modules sont assurées par des connecteurs enfichés aux dos des modules ;
- ✓ Possibilité de mise en réseau avec l'interface multipoint (MPI), PROFIBUS ou INDUSTRIAL ETHERNET ;
- ✓ Liberté de montage aux différents emplacements ;
- ✓ Configuration et paramétrage à l'aide de l'outil de configuration matérielle ;
- ✓ Raccordement central de la PG avec accès à tous les modules.

VI.2. Modularités du SIMATIC S7-300

L'automate S7-300 est un système d'automatisation disposant d'une vaste gamme de modules tels que :

- modules d'alimentation (PS) ;
- Unité centrale CPU, cœur de l'appareil ;
- Coupleurs (IM) ; modules d'extensions ;

- Modules de signaux (SM) ; pour les entrées /sorties (TOR, analogiques) ;
- Modules de fonction (FM) ; pour fonctions spéciales ;
- Modules de communication (CP).

La figure IV.4 représente les différents modules du S7-300 ;

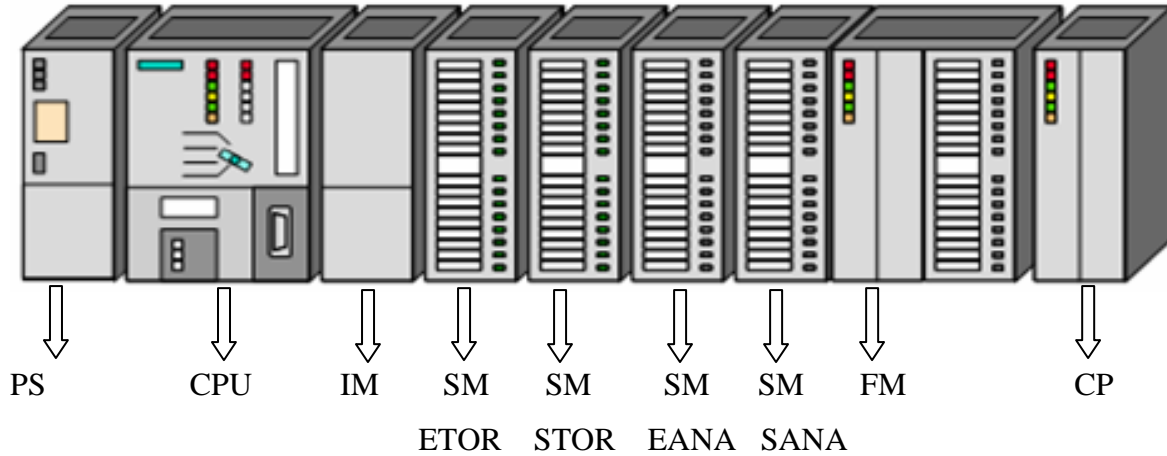


Figure IV.3 L'automate S7-300. [13]

VI.2.1. Modules d'alimentation (PC)

Ils fournissent à l'automate l'énergie nécessaire à sa mise en marche, ils transforment la tension secteur 220/380V à une tension continue de service de 5V, 12V, 24V. Ils assurent l'alimentation des circuits internes de l'automate ainsi les différents circuits des capteurs, actionneurs. Des voyants utilisés pour l'indication de mise sous tension de l'automate. Le tableau IV.1 représente les différents modules d'alimentation du S7-300 ;

Désignation	CS	Tension à la sortie	Tension à l'entrée
PS 307	2A	DC 24v	AC 120v/230v
PS 307	5A	DC 24v	AC 120v/230v
PS 307	10A	DC 24v	AC 120v/230v

Tableau IV.1 Les modules d'alimentation. [13]

VI.2.2. Unité Centrale (CPU) (Central Processing Unit)

Une carte électronique Bâtie autour d'un ou plusieurs processeurs et mémoires. Essentiellement la CPU lit les états des signaux d'entrées et exécute le programme utilisateur de façon séquentielle, puis

commande les sorties. La CPU possède un système d'exploitation, unité d'exécution et des interfaces de communication.

VI.2.2.1. Processeur

Il est le cerveau de l'automate, composé :

- D'une unité logique (UL) et unité arithmétique et logique (UAL), la première traite les opérations logiques telles que ; fonctions ET, OU, etc. La seconde traite les opérations de calcul, temporisations et comptages ;
- D'un registre d'instructions ; il contient les instructions à exécuter ;
- D'un accumulateur ; considéré comme un registre qui loge une donnée ou un résultat ;
- D'un décodeur d'instructions ; il décode l'instruction prête à l'exécution ;
- D'un compteur programme ou compteur ordinal : contient l'adresse de la prochaine instruction à exécuter et gère la chronologie de l'exécution des instructions du programme.

VI.2.2.2. Mémoire

Le stockage des données et des programmes s'effectue dans des mémoires, on distingue :

- Mémoires RAM : mémoires vives ; elles sont volatiles mais secourues par batteries, elles contiennent le programme et données utilisateur ;
- Mémoires ROM : mémoires mortes dont l'utilisateur ne peut que lire le contenu stocké.

Eventuellement mémoires programmables (PROM), à l'aide d'outils spéciaux, elles contiennent les données propres à l'automate ou bien du système d'exploitation, ainsi mémoires reprogrammables (EPROM) qui stockent les programmes au point et utilisables, là encore avec un matériel spécifique.

- On note que la capacité de stockage d'une mémoire s'exprime en kilo-octets (KO) dont $1\text{KO} = 1024 \times 8 \text{ bits}$, la spécialisation du traitement et système d'exploitation imposent des unités par types dans la programmation, comme dans les données afin de satisfaire de telles capacités.

- Les liaisons s'effectuent :

- Avec l'extérieur par des borniers (à visser, à éclipser, etc.) sur lesquels arrivent des câbles transportant le signal électrique.
- Avec l'intérieur par des bus ; c'est des liaisons parallèles transmettant des données, des états et des adresses.

La figure IV.5 illustre les différents constituants d'une CPU ;

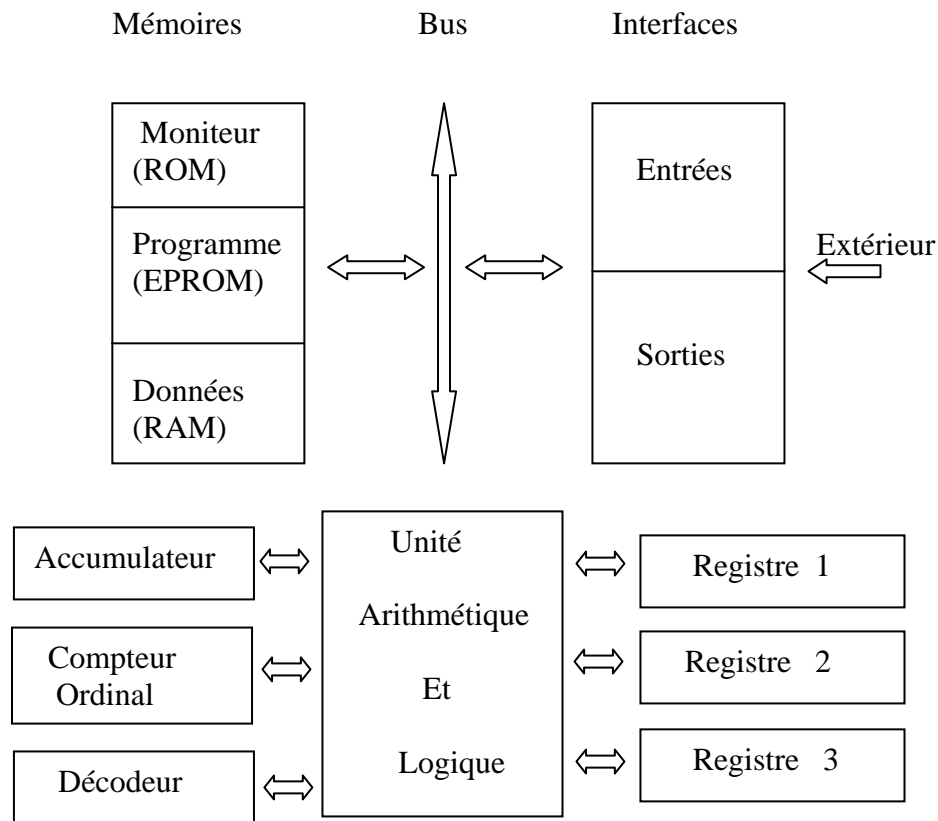


Figure IV.4 La représentation graphique de la CPU. [13]

- On distingue sur la face avant de la CPU 314 les éléments suivants :

a). Bornes pour l'alimentation

Il est commun pour la majorité des CPU des S7-300, on distingue les bornes d'alimentation suivantes :

- Cavalier amovible pour le montage sans liaison à la terre ;
- La terre.

b). Carte mère, pile

Elles permettent de sauvegarder le contenu du programme en cas de coupure de courant.

c). Signalisation des états

Des LEDS utilisées pour signaler certains états de l'automate telles que :

- SF : Signalisation groupée de défaut (défaut interne de la CPU ou d'un module) ;
- BATR : Défaut de batterie (batterie de tension faible) ;
- RUN : La mise en route de la CPU ;
- STOP : Allumage continu en mode STOP ;
- DC5V : Signalisation de la tension d'alimentation interne 5V, en cas de surcharge de tension, la LED clignote ;
- FRCE : Forçage permanent en entrée ou en sortie.

d). Interface MPI

Un port pour l'interface multipoint ; pour la connexion de la console de programmation (PG) ou un autre périphérique (pupitre de commande PO).

e). Commutateur de mode de fonctionnement

Un commutateur à clé pour changer le mode de fonctionnement qui autorise certaines fonctions à la console de programmation.

- RUN-UP : Exécution du programme ; accès en écriture et en lecture avec la CPU ;
- RUN : Exécution du programme ; accès en lecture seule avec la CPU ;
- MRES : Effacement général de la CPU est en exécution ;
- STOP : Arrêt ; le programme n'est pas exécuté, allumage continu en mode STOP.

La figure IV.6 illustre la CPU 314 ;

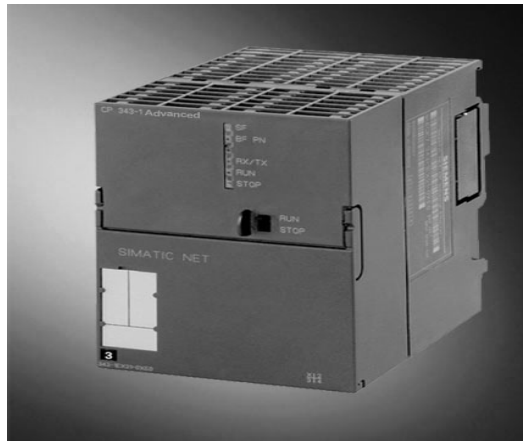


Figure IV.5 La CPU 314. [13]

VI.2.2.3. Modules de coupleurs (MI)

Ils permettent de configurer l'automate sur plusieurs rangées et assurent la communication entre les entrées /sorties et la CPU par intermédiaire d'un bus interne (liaison parallèle codée), ainsi entre d'autres périphériques (console de programmation, clavier, lecteur, etc.) et la CPU par intermédiaire d'un bus externe (liaison parallèle ou série).

- On note que dans le cas d'un processus complexe, il est souhaitable de répartir les tâches entre plusieurs automates et à cet effet, ils seront équipés de coupleurs de liaison pour qu'ils puissent dialoguer entre eux. Les échanges d'informations alors sont transmises à l'aide d'un bus de coupleur à d'autre coupleur.

VI.2.4. Modules de signaux (SM)

VI.2.4.1. Modules d'entrées / sorties (TOR)

Ils assurent le rôle d'interface de la partie commande, on distingue :

a). Modules d'entrées TOR

Ils ramènent les niveaux des signaux externes TOR issus de processus aux niveaux des signaux internes de l'automate S7-300 ; donc ils permettent le raccordement de différents capteurs logiques à l'automate tels que : fins de course, boutons poussoirs, détecteurs de proximité, etc..

Les tensions d'entrées sont de : 24 V, 48 V, 110 V, 220 V en continues et en alternatifs.

b). Modules de sorties TOR

Ils transfèrent les niveaux des signaux internes aux niveaux des signaux requis par le processus. Ils conviennent aux raccordements de différents actionneurs à l'automate tels que : les vérins, les moteurs, les lampes, etc. Ainsi les tensions de sorties TOR sont : 24 V, 48 V, 110 V, 220 V en continues et en alternatifs.

c). Caractéristiques des modules d'entrées / sorties TOR

- Simplicité de montage : les modules sont montés sur le profilé support et reliés aux autres modules voisins par les connecteurs de bus ;
- Facilité de câblage : le câblage de ces modules s'effectue à l'aide d'un connecteur frontal ;
- Des LEDES : diodes électroluminiscentes pour la visualisation des états d'entrées ou de sorties des modules.

d). Modules d'entrées / sorties analogiques

Ils sont des interfaces destinées pour des signaux analogiques en provenance et à destination des processus commandés.

- Les modules d'entrées analogiques convertissent les signaux analogiques mesurés (courant, tension, pression, température, etc.) en grandeurs numériques à l'aide des convertisseurs analogiques / numériques (CAN).
- Les modules de sorties analogiques convertissent les valeurs numériques en grandeurs analogiques à l'aide des convertisseurs numériques / analogiques (CNA).

VI.2.5. Module de fonction (FM)

Il est divisé en trois modules spéciaux programmables :

- Comptage ;

- Positionnement ;
- Régulation.

Ces modules comportent des processeurs spécifiques dont ils soulagent la CPU dans le traitement des informations et améliorent les performances de travail.

VI.2.6. Modules de communication (CP)

Ils sont des interfaces de communication qui assurent des liaisons homme-machine et machine-homme.

- Point à point ;
- PROFIBUS ;
- Industriel Ethernet.

VI.2.7. Châssis d'extension (UR)

Il est constitué d'un profilé support en aluminium et bus de fond de panier avec connecteur, il assure le raccordement électrique entre les divers modules de l'automate. Le châssis d'extension est généralement installé à l'intérieur des armoires électriques.

VI.2.8. Les périphériques de communication

a). Console de programmation (PG)

Elle contient le logiciel de programmation (STEP7), elle est l'outil idéal pour toutes les applications intervenant dans un procédé à automatiser car elle permet :

- ✓ Le traitement, la saisie et l'archivage des données ;
- ✓ Le transfert du programme dans l'automate ;
- ✓ Test et visualisation du programme ;
- ✓ Le forçage ou la modification des données ;

- Si la liaison entre l'automate et la PG est rompue, l'automate continu d'exécuter son programme.
- Certaines consoles ne peuvent être utilisées que connectées à l'automate et d'autres utilisées indépendamment de l'automate vu leurs mémoires internes et leurs propres alimentations.

b). Pupitre opérateur (OP)

C'est un périphérique qui permet de visualiser l'état d'exploitation, les valeurs actuelles en temps réel d'un processus et les alarmes de l'automate. Il est constitué :

- D'un afficheur ;
- De touches de fonctions : les fonctions attribuées à ces touches varient selon l'image

affichée à l'écran ;

- De touches de système : elles permettent d'introduire des données sur l'OP.

Le pupitre opérateur (OP) communique avec l'automate à travers un PROFIBUS qui permet un échange de données très rapide.

VII. Adressage des modules du S7-300

On a deux types d'adressage :

- Adressage des modules liés à l'emplacement ;
- Adressage des modules de signaux.

VII.1. Adressage des modules liés à l'emplacement

A chaque numéro d'emplacement du module dans le châssis, correspond une adresse de début du module, il s'agit d'un adressage par défaut.

VII.2. Adressage absolu des modules de signaux

La déclaration d'une entrée ou d'une sortie dans le programme s'appelle « adressage », chaque entrée ou sortie possède une adresse absolue déterminée par la configuration matérielle.

VII.2.1. Adressage des modules TOR

L'adressage d'une entrée ou d'une sortie est constitué d'une adresse d'octet et d'une adresse de bit :

- L'adresse d'octet dépend de l'adresse de début du module ;
- L'adresse de bit est indiquée sur le module ;
- L'adresse d'octet et l'adresse du bit sont séparées par un point.

Exemple d'illustration. (Figure IV.7) ;

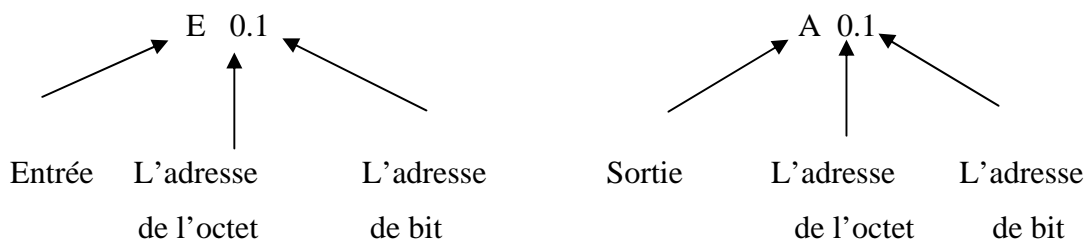


Figure IV.6 Exemple d'adressage des modules de signaux TOR. [13]

VII.2.2. Adressage des modules analogiques

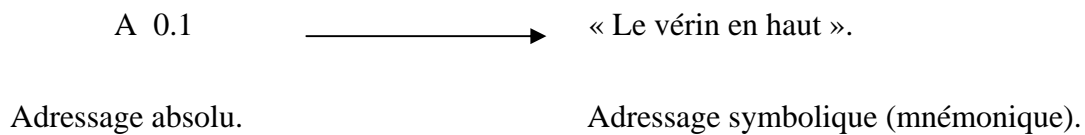
L'adresse d'une voie d'entrées ou de sorties analogiques est toujours une adresse mot ; l'adresse de la voie dépend de l'adresse de début du module.

Les voies d'entrées et de sorties analogiques d'un module d'entrées /sorties analogiques ont la même adresse de début.

VII.2.3. Adressage symbolique

Il sert à rendre le programme plus lisible et plus compréhensif, il affecte un nom symbolique à l'adresse absolue qui est nommée « mnémonique ». L'adressage symbolique s'effectue dans la table des mnémoniques dans *simatic manager* [2].

- **Exemple :**



VII.2.4. L'instruction

Dans le traitement du programme d'automatisation, l'API utilise diverses instructions qui sont autonomes du programme lui-même, elles sont synonymes à des ordres pour l'unité de commande.

L'instruction est composée de deux parties :

a). Partie type opération

Elle décrit la fonction à exécuter, par exemple :

- L : Charger dans l'accumulateur ;
- T : Transférer une donnée ;
- U : Fonction ET ;
- S : SET (mise à 1) ;
- R : RESET (remise à 0).

b). Partie opérande

Elle indique à l'unité de commande la nature du signal sur lequel doit porter l'opération (Identificateur) et toutes les informations nécessaires à l'exécution de la fonction (les paramètres de l'opérande). Figure IV.8 ;

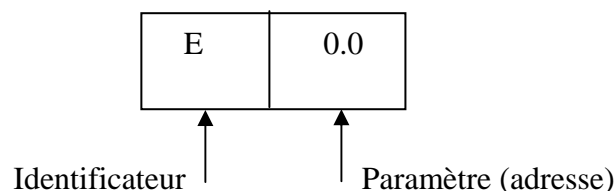


Figure IV.7 Exemple de représentation de la partie opérande. [13]

- **Quelques désignations :**

- E : Entrée ;
- A : Sortie ;
- M : Mémentos ;

- T : Temporisation ;
- Z : Comptage.

VII.2.5. Mémentos

Ils sont des éléments électroniques bistables, ils mémorisent les états logiques 0 ou 1, ils sont utilisés pour les opérations internes de l'API pour lesquelles l'émission d'un signal n'est pas important. Ils sont considérés comme des sorties.

VIII. Programmation de l'API S7-300

Pour élaborer le programme utilisateur, le langage de programmation utilisé est le STEP7. Le logiciel STEP7 est l'outil de base pour la configuration et la programmation d'un système d'automatisation SIMATIC, d'où il présente diverses caractéristiques qui offrent plusieurs performances et avantages :

- ✓ Configuration et paramétrage du matériel ;
- ✓ Simplification de l'organisation du programme ;
- ✓ Facilité de modification du programme ;
- ✓ Test du programme est simplifié (section par section), ainsi la facilité de sa mise en service ;
- ✓ Fonctions de diagnostic et d'exploitation lors de présence de perturbations dans le procédé à automatiser.

La figure IV.9 illustre la vue d'ensemble de l'automatisme ;

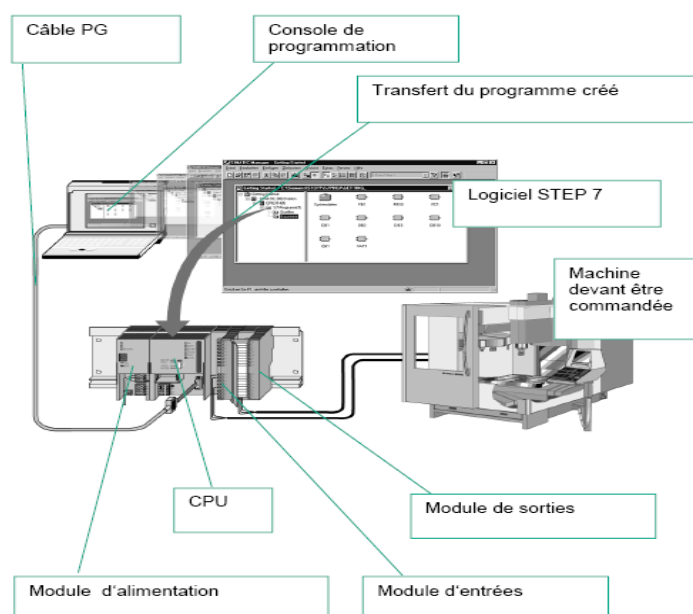


Figure IV.8 Vue de l'ensemble de l'automatisme. [13]

VIII.1. Principe de conception d'une structure de programme

Au cours de l'exécution du programme dans la CPU, deux programmes différents s'exécutent.

VIII.1.1. Système d'exploitation

C'est un programme propre à la CPU, il commande des fonctions et procédures dans la CPU qui sont indépendantes du programme utilisateur. Ces dernières se résument dans :

- La gestion de la zone mémoire ;
- La détection et le traitement d'erreurs ;
- La communication avec les périphériques externes (console de programmation, pupitre de commande, etc.) ;
- L'appel du programme utilisateur.

VIII.1.2. Programme utilisateur

Il contient toutes les fonctions nécessaires au traitement d'une tâche d'automatisation spécifique, puis le programme est chargé dans la CPU, par exemple : traitement des données du processus.

VIII.1.3. Traitement du programme par l'automate

La CPU traite le programme d'une manière cyclique en plusieurs phases :

- Phase 1: le système d'exploitation démarre la surveillance du temps du cycle ;
- Phase 2 : la CPU lit l'état des entrées dans les modules d'entrées et met à jour la mémoire image des entrées ;
- Phase 3 : à cette étape, la CPU exécute les instructions de programme utilisateur ;
- Phase 4 : la CPU écrit les résultats dans la mémoire image des sorties, puis elle transfère ces derniers vers les modules de sorties ;
- Phase 5 : à la fin du cycle, le système d'exploitation exécute les travaux en attente, tel que le chargement et l'effacement des blocs ou la réception et l'émission des données globales ;
- Phase 6: la CPU revient alors au début du cycle et démarre à nouveau la surveillance du temps du cycle.

VIII.2. Blocs STEP7

On distingue deux blocs principaux :

- Blocs utilisateur ;
- Blocs système.

VIII.2.1. Blocs utilisateur

Il nous offre plusieurs blocs utilisés pour la programmation.

a). Blocs d'organisations (OB)

Ils constituent l'interface entre le système d'exploitation et le programme utilisateur, la CPU exécute uniquement les instructions existantes dans ces blocs. Les blocs d'organisations sont traités selon la priorité qui leur est affectée, l'OB1 est le bloc prioritaire. Les blocs OB permettent de déclencher certaines parties du programme telles que :

- ✓ La mise en route de la CPU ;
- ✓ Traitement des erreurs ;
- ✓ Les alarmes horaires, temporisées, cycliques, alarmes du processus et multiprocessus.

b). Blocs fonctionnels (FB)

Ils disposent de zones mémoires propres dont les données statiques sont sauvegardées, ainsi ces blocs facilitent la programmation des fonctions complexes utilisées.

c). Blocs fonctionnels (FC)

Contrairement aux blocs FB, les blocs FC ne possèdent pas des zones mémoires propres et par conséquent, les données d'une fonction sont perdues après l'exécution de la fonction.

d). Blocs de données (DB)

Ces blocs sont des zones mémoires des données (locales, globales), on distingue deux types de blocs DB :

d).1. DB globaux

Accessibles par tous les blocs (OB, FB, FC), possibilité d'écrire et de lire les données utilisateur enregistrées dans les DB globaux.

d).2. DB d'instances

Associés aux blocs fonctionnels FB, ils contiennent les paramètres et les données statiques du FB.

VIII.3. Structure d'une programmation**VIII.3.1. Programme linéaire**

Il est utilisé pour des commandes simples et de volumes moins importants. Les multiples opérations et instructions de différentes fonctions sont stockées dans un seul bloc d'organisation (OB1) qui traite cycliquement le programme.

VIII.3.2. Programme structuré

Le programme utilisateur est subdivisé en fonctions principales que l'on programme à l'aide des blocs de codes (OB, FB, FC), l'OB1 contient le programme principal qui sera exécuté par la CPU puis il fait

appel aux autres blocs quand il le faut pour délivrer les données correspondantes, et dès que la CPU termine l'exécution du programme stocké dans le bloc appelé, elle reviendra pour suivre l'exécution du programme du bloc appelant.

Ce genre de traitement de programme est utilisé lorsque le procédé à automatiser est complexe car il permet de simplifier l'organisation, la gestion et le test du programme.

VIII.3.3. Programme segmenté

Les différentes fonctions du programme sont stockées dans des blocs isolés, l'OB1 qui contient le programme principal appelle ces blocs l'un après l'autre.

La figure IV.10 illustre les différentes structures du programme ;

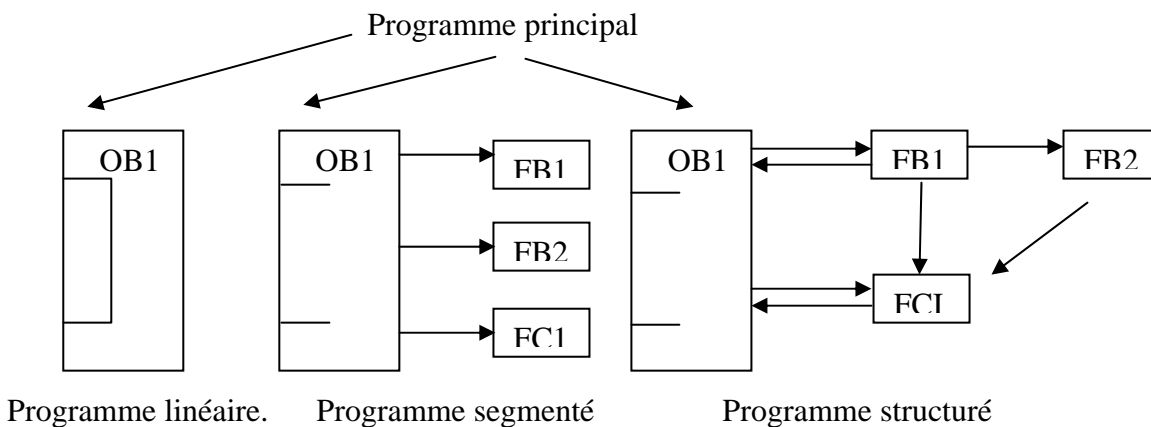


Figure IV.9 Structure du programme. [13]

VIII.4. Langage de programmation

Le programme peut être représenté et programmé selon trois modes différents avec le logiciel STEP7 :

- Liste d'instruction « LIST » ;
- Logigramme « LOG » ;
- Schéma à contact « CONT ».

VIII.4.1. Liste d'instruction (LIST)

C'est un langage textuel, qui rappelle par certains aspects l'assembleur employé pour la programmation des microprocesseurs, c'est un programme utilisant de différentes instructions qui comportent des opérateurs, des opérandes, ainsi on peut introduire des étiquettes et des commentaires.

VIII.4.2. Logigramme (LOG)


C'est une représentation graphique qui utilise des symboles de la logique. Les différentes fonctions sont représentées par des symboles avec indicateurs de fonction, les entrées sont écrites à gauche du symbole et les sorties à droite de ce dernier.


VIII.4.3. Schéma à contact (CONT)

Il est connu aussi sous le nom « LADDER », c'est une représentation graphique d'équations booléennes combinant des contacts en entrées et des relais en sorties, il est limité de droite et de gauche par des barres d'alimentation, c'est le langage le plus utilisé par les automates.

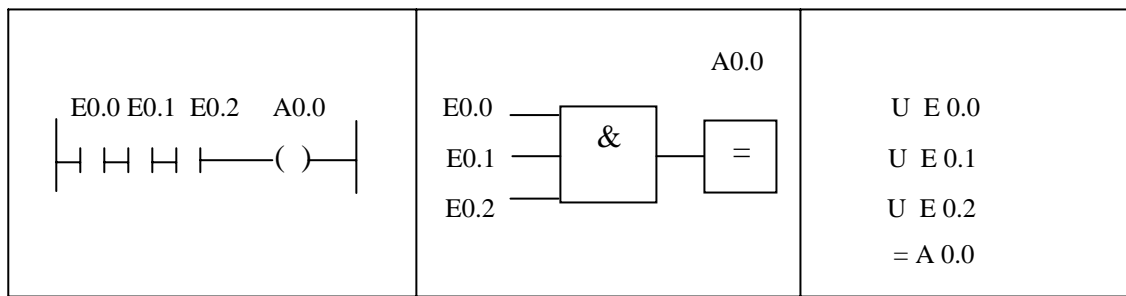
Les symboles graphiques élémentaires utilisés :

 : Variable d'entrée ou contact à fermeture ;

 : Variable d'entrée complémenté ou contact à ouverture ;

 : Variable de sortie.

La figure IV.11 illustre une combinaison en ET représentée par les différents modes de programmation ;



Représentation CONT.

Représentation LOG.

Représentation LIST.

Figure IV.10 Combinaison en ETreprésentée par les langages de programmation.

VIII.5. Opérations du STEP7

VIII.5.1. Opérations combinatoires

Elles sont codées en binaire, on cite la combinaison en ET, la combinaison en OU, etc..

VIII.5.2. Opérations de temporisation

Elles permettent de réaliser et de surveiller les actions faisant intervenir le facteur temps dans le programme.

- SI : Temporisation impulsionnelle ;
- SV : Temporisation impulsionnelle prolongée ;
- SA : Temporisation retard à la montée ;
- R : Remise à zéro d'une temporisation.

VIII.5.3. Opérations de comptage

Elles sont réalisées directement par la CPU à l'aide des opérations suivantes :

- ZV : Comptage ;
- ZR : Décomptage ;
- S : Positionnement du compteur ;
- R : Remise à zéro du compteur.

VIII.5.4. Opérations de mémorisation

Elles affectent un état de signal au niveau de l'opérande en fonction du résultat logique (RLG).

- S : Mise à 1 ;
- R : Remise à zéro ;

VIII.5.5. Opérations de chargement et de transfert

Elles permettent de charger des valeurs constantes nécessaires au traitement du programme ainsi d'échanger des informations entre les différents types d'opérandes. On cite :

- L : Chargement ;
- T : Transfert ;
- LC : Chargement codé en binaire codé en décimal (BCD).

VIII.5.6. Opérations arithmétiques

Elles permettent l'exécution des opérations d'addition, de soustraction, de multiplication et de division.

VIII.5.7. Opérations de comparaison

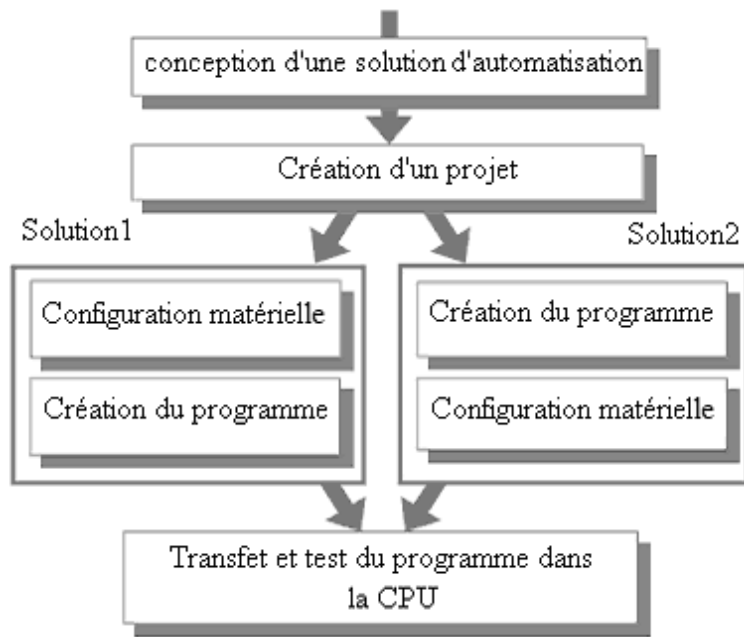
Elles permettent de comparer le contenu des accumulateurs.

IX. Création d'un projet en STEP7

Pour la création d'un projet en STEP7, on dispose de deux solutions possibles :

- Solution 1 : débiter par la configuration matérielle.
- Solution 2 : débiter par la création du programme.

La figure IV.12 illustre les deux solutions utilisées pour la conception d'un automatisme ;




FigureIV.11 Création d'un projet en STEP 7. [13]

Toute fois, il est recommandé d'opter pour la solution 1 car on bénéficiera de la fonction d'adressage automatique de STEP7. Cependant, la solution 2 obligera l'utilisateur à chercher lui-même les adresses des constituants choisis.

IX.1. Lancement du logiciel

Les procédures à suivre pour la création d'un projet sous le logiciel STEP7 sont comme suit :

1. Double clique sur l'icône SIMATIC Manager  ; ceci lance l'assistant de STEP7.

La fenêtre d'introduction de l'assistant apparaît, elle est illustrée en figure IV.13 ;



Figure IV.12 Assistant de STEP7, nouveau projet.

2. Cliquer sur **Suivant**, une autre fenêtre apparaît, elle permet de choisir le type de la CPU à utiliser. Pour notre travail, nous avons choisi la CPU 314 avec l'adresse MPI égale à 2 par défaut. (Figure IV.14) ;

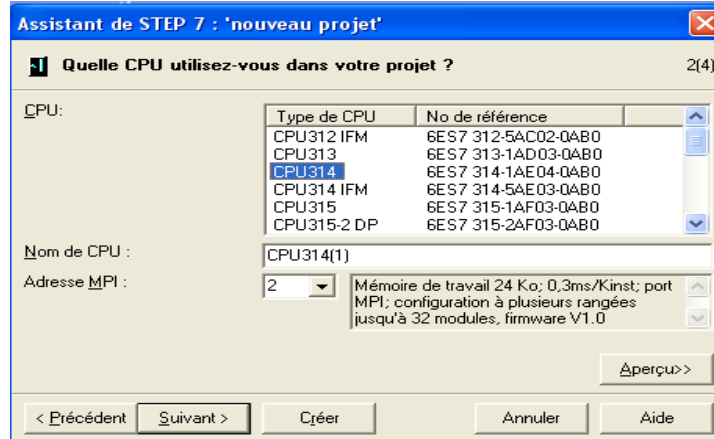


Figure IV.13 Choix de la CPU.

3. Cliquer sur **Suivant**, une autre fenêtre apparaît, elle permet de choisir les blocs à insérer et le langage de programmation. Pour notre cas on choisi le bloc OB1 (cycle d'exécution) ainsi le langage de programmation contact (CONT).

La figure IV.15 illustre le choix du bloc et du langage ;

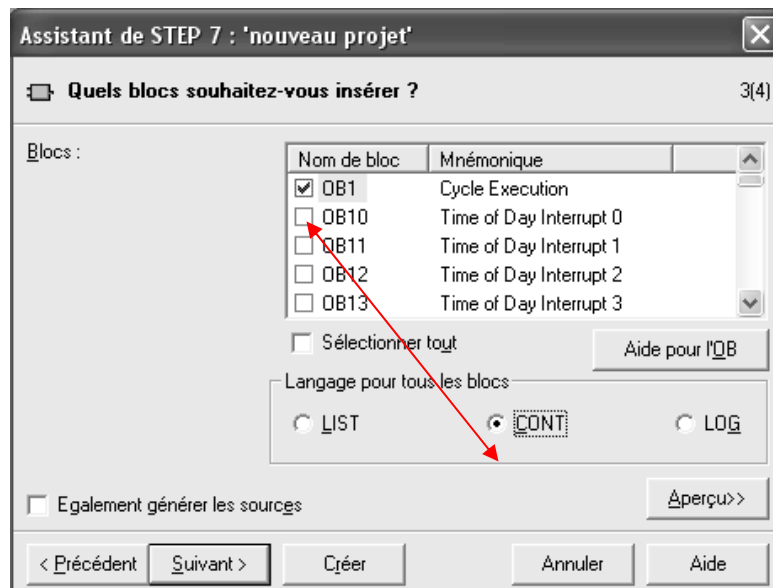


Figure IV.14 Blocs et langage de programmation utilisés.

4. Cliquer sur **Suivant**, une autre fenêtre apparaît, elle permet de porter un nom au projet. (Figure IV.16) ;

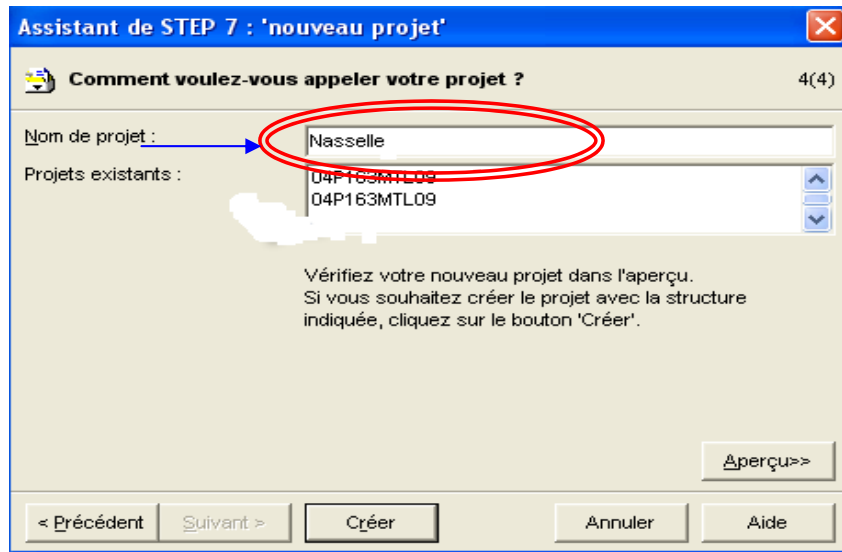


Figure IV.15 Intitulation du projet.

5. Ensuite cliquer sur **créer**, alors la fenêtre SIMATIC MANAGER apparaît avec le nom attribué et à partir de cette fenêtre que nous allons appeler toutes les fonctions et les autres fenêtres de STEP7.

➤ La gestion des fichiers en STEP 7 s'effectue avec **'SIMATIC Manager'**. Mais il est possible par exemple de copier les blocs de programme ou d'appeler d'autres traitements avec d'autres outils en cliquant avec la souris. L'utilisation correspond aux standards habituels WINDOWS. Donc on a entre autres la possibilité de faire apparaître un menu contextuel sur chaque composant par le bouton droit de la souris.

- En STEP 7, chaque projet est stocké dans une structure fixe prédéfinie.
- Les programmes sont enregistrés dans les répertoires illustrés dans la figure IV.17 suivante ;

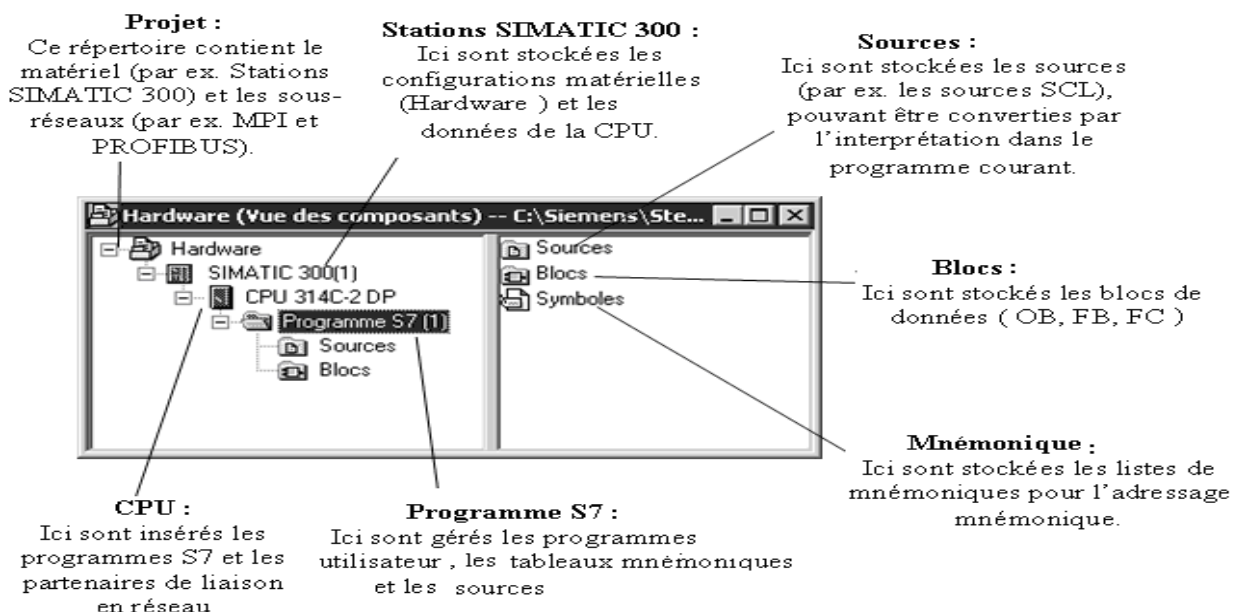


Figure IV.16 Répertoires de la station SIMATIC

IX.2. Configuration du Matériel de l'automate

a). Définition

La configuration matérielle consiste à choisir dans le catalogue du matériel, les modules avec des adresses compatibles à celles du matériel existant dans l'automate, puis les mettre dans une table de configuration, tout comme dans les profilés support ou châssis réels.

- A la mise sous tension, l'automate compare la configuration créée dans le STEP7 avec le matériel disponible, des éventuelles erreurs pour une non compatibilité sont détectées et signalées par l'automate pour la correction.

Les étapes à suivre pour configurer une installation sont illustrées dans la figure IV.18 suivante ;

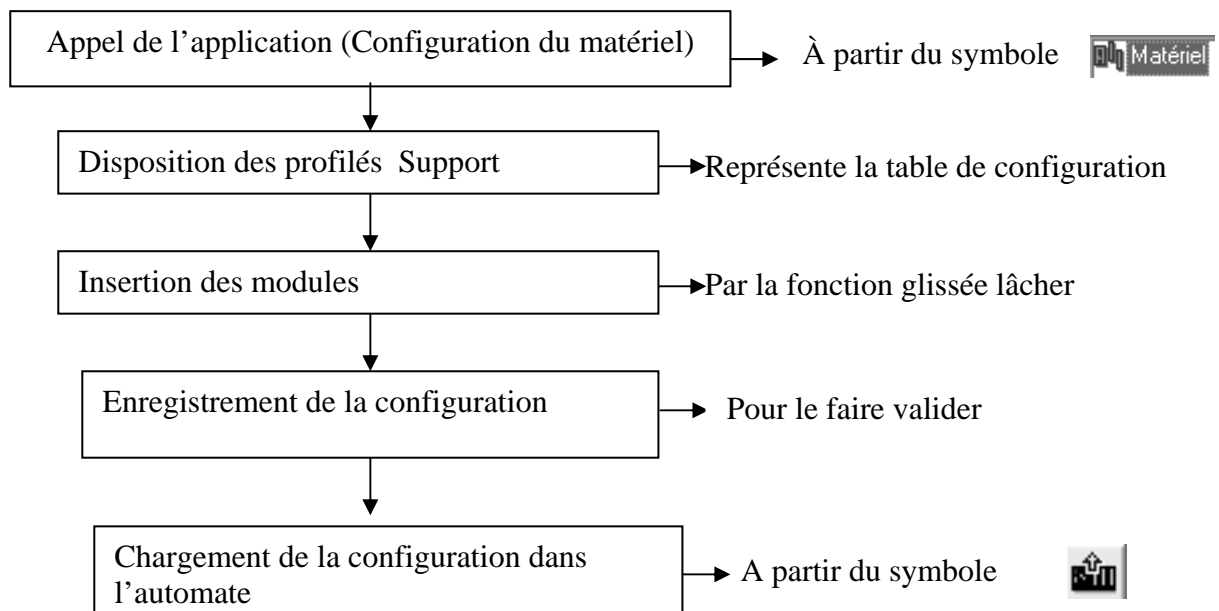


Figure IV.17 Etapes nécessaires pour la configuration matérielle.

b). Caractéristiques de la configuration du matériel choisie

Dans notre travail, nous disposons des entrées et sorties de nature TOR et des entrées analogiques

- le nombre total d'entrées du système de nature TOR est : 25 entrées.
- le nombre total d'entrées du système de nature ANALOGIQUE est : 4 entrées.
- le nombre total de sorties du système de nature TOR est : 29 sorties.

➤ Le choix s'est porté sur les modules suivants :

- **Module d'alimentation**

PS 307 5A, alimentation externe : 120/230Vca, 24Vcc, 5A.

- **Unité centrale**

CPU 314, mémoire de travail : 24Ko, 0.3ms / K Inst, avec port MPI, configuration multi rangées jusqu'à 32 modules.

- **Modules d'entrées TOR**

Deux modules de 16 entrées pour chacun : SM 321 DI 16xDC 24V avec alarme; dont 16 entrées TOR, 24 V en courant continu, par groupe de 8.

- **Modules d'entrées ANALOGIQUE**

Un seul module de 8 entrées SM 331 AI 8 16 bits ; dont 8 entrées Analogique de 16 bits, par groupe de 8

- **Modules de sorties TOR**

Deux modules de 16 sorties : SM 322 DO 16xDC 24V/0.5A ; dont 16 sorties TOR, 24V en courant continu, 0.5A, par groupe de 8.

La figure IV.19 suivante illustre la configuration matérielle choisie ;

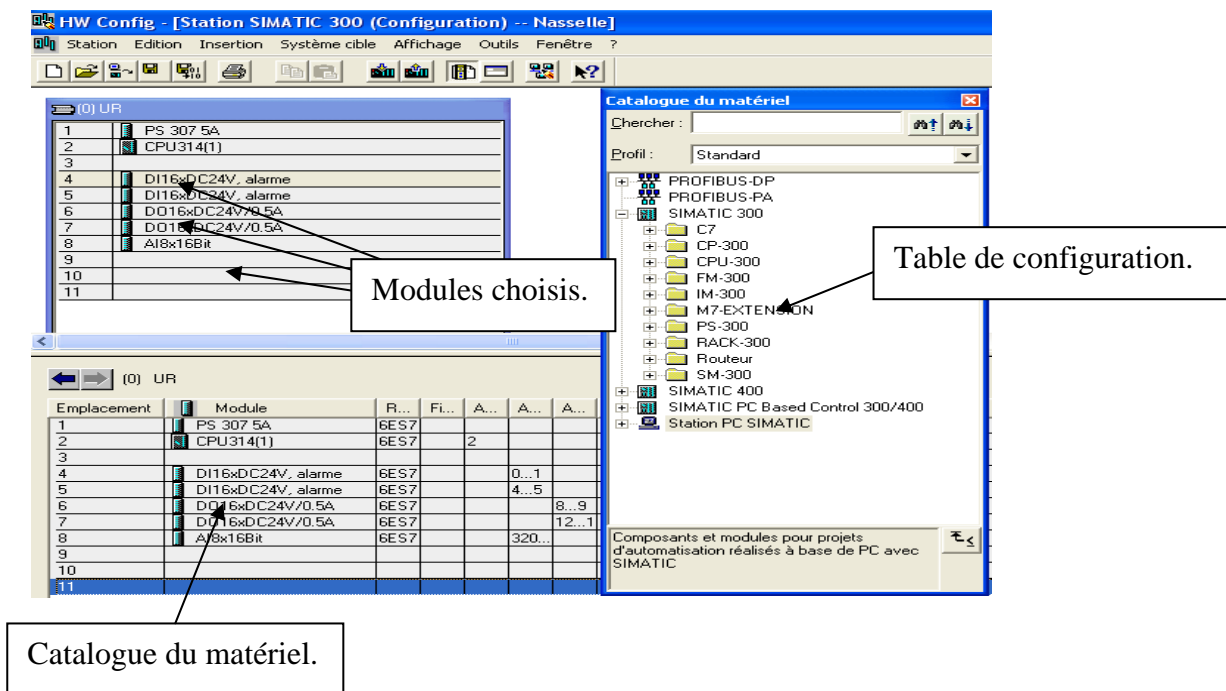


Figure IV.18 Configuration du matériel.


➤ On distingue sur le côté droit de la fenêtre précédente une liste du matériel de l'automate :

- PROFIBUS-DP : Equipement pour le réseau ;
- SIMATIC 300 : Module des automates de la série 300 ;
- SIMATIC 400 : Module des automates de la série 400 ;

- SIMATIC PC Based Control 300 / 400 ;
- La CPU utilisée est de type 314, l'automate est de la série 300. Nous cliquons sur le + qui précède l'item *SIMATIC 300*, alors une série de répertoires qui désignent toute une série de modules apparaîtra.
- Ajoutons le module d'alimentation à la configuration, ce module se trouve dans le répertoire PS-300. Pour sauvegarder la configuration, on clique sur l'item **Enregistrer** du menu déroulant **Fichier**.

X. Programmation avec le logiciel STEP7

1. Cliquer sur le répertoire **Programme S7**, les items Sources, Blocs, Mnémoniques apparaissent.

2. Sélectionner l'item **Blocs**, apparition du symbole 

3. Cliquer deux fois sur ce dernier, la fenêtre de l'éditeur de programmation apparaît.

- Dans la fenêtre à droite nous retrouvons l'ensemble des éléments de programme ou fonctions disponibles pour cet automate. Dans la fenêtre à gauche nous retrouvons la page de l'éditeur de programme. On y trouve :

- Un champ pour insérer le titre du bloc ;
- Une zone de commentaire pour décrire la fonction du bloc ;
- Un ensemble de réseaux (ou barreaux) ayant :
 - Un champ pour insérer le titre du réseau ;
 - Une zone de commentaire pour le réseau ;
 - La zone de programme du réseau.

La figure IV.20 illustre un exemple de programmation avec le langage à contact dans l'éditeur de programme ;

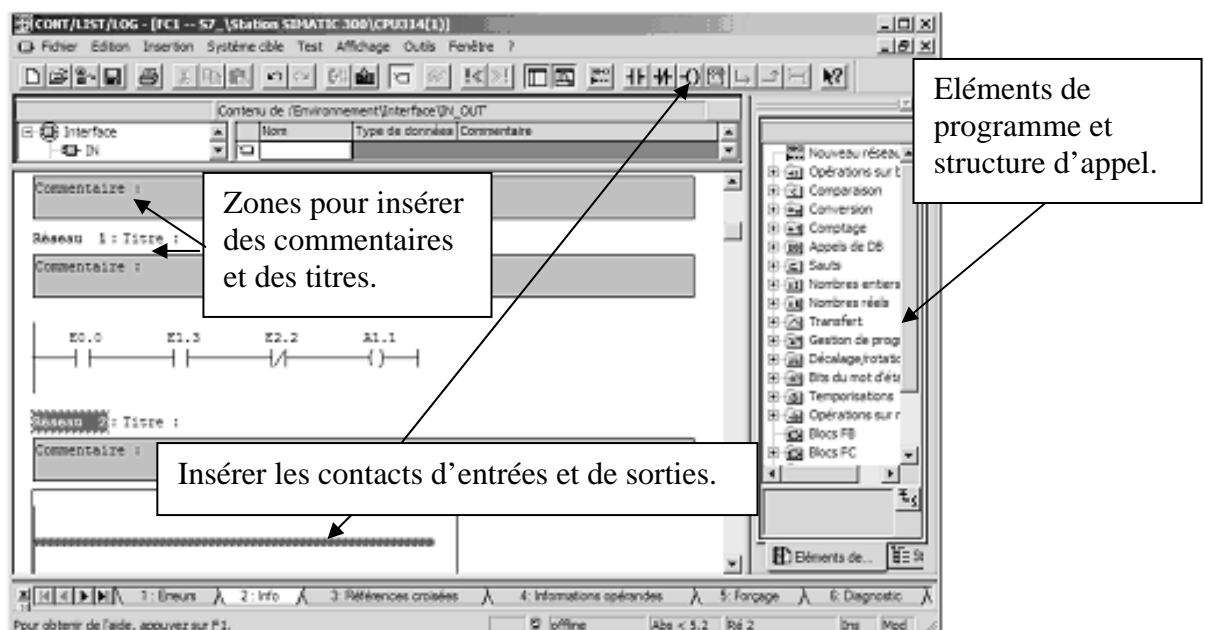


Figure IV.19 Exemple de programmation.

XI. Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons essayé de présenter les différents modules constituant l'automate programmable S7-300 et son langage de programmation. La constitution modulaire, la facilité d'emploi font du S7-300 la solution économique et conviviale pour les tâches les plus diverses dans les différentes applications à réaliser.

Le logiciel de programmation STEP 7 constitue le lien entre l'utilisateur et l'automate programmable S7-300 car ce dernier ne peut gérer ses fonctionnalités sans un programme approprié, élaboré après l'étape de modélisation du système à automatiser.

Conclusion

- Notre étude a porté sur le procédé de l'injection plastique du PET, pour ce faire nous l'avons entamé avec des généralités, puis le traitement et le moulage du PET.
- A l'avenir, au cas où il y aurait une extension sur la surface avec augmentation d'équipements électriques, le transformateur que nous avons dimensionné, peut aisément subvenir aux besoins de la charge, suite à sa puissance.

Le dimensionnement du réseau électrique de l'atelier plastique, nous à montré tout l'intérêt et l'importance de l'étude d'une installation électrique.

- Grâce à l'outil puissant de modélisation, le GRAFCET, et après avoir effectué les améliorations sur la machine (soft-drop), nous avons proposé une solution de commande automatisée à base de l'API S7-300 qui a rendu le système plus fiable
- Ce que nous retenons du travail que nous avons effectuée durant ces cinq mois à CEVITAL est primordial dans notre vie d'ingénieur. Ce stage pratique nous a été bénéfique à plus d'un titre compte tenu des nombreux avantages qu'il présente. La découverte du monde industriel, la mise en application de la théorie acquise durant notre cursus et l'expérience engrangée lors de notre collaboration avec les ingénieurs sur les lieux.

Nous espérons que ce modeste travail servira de support aux promotions à venir.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Maurice Reyne, Traité des plastiques, les plastiques, transformation et application, 2^{ème} édition, revue et augmenté. 1992
- [2] Didier Billoet. Moulage des thermoplastiques par Co-injection. Technique de l'ingénieur, traité plastiques et composites. A3700.
- [3]. J. F. Agassant, J.M. Haudin, « mise en forme des polymères thermoplastiques », in M. Carrega et Coll, *matériaux industriels. Matériaux polymères*, Dunod, Paris (2000).
- [4] J. P. Trotignon, J. Verdu, A. Dobraczynski, M. Dipierand, Matière plastique, Structures-Propriétés, Mise en œuvre, Normalisation. Edition Nathan.
- [5] Mémotech électrotechnique 4^{ème} édition.
R BOURGOIS et D COGNIEL
- [6] Trificable Pirelli
Câbles et fils électriques. Appareillage 1982.
- [7] Electrotechnique et normalisation « Tome 3 »
Installation électrique
HENRI NEY
- [8] La construction normalisée en électrotechnique « Tome 1 » 1^{ère} édition
A BONCIOTTO
P BOYE
- [9] La sécurité d'électricité
Technique de protection
R CHOQET
- [10] LLG TS Electrotechnique Section des conducteurs et protection des installations
- [11] M. BLANCHARD. « Comprendre, maîtriser et appliquer le Grafcet ». Edition CEPADUES. Année 1992.
- [12] BOSSY, P. BRARD, P. FAUGERE et C. MERLAUD. « Le GRAFCET ».
Edition EDUCALIVRE. PARIS 1979.
- [13] ANDRE SIMON. « Automates programmables industriels ». Niveau 1.
Edition L'ELAN-LIEGE et EYOROLES. Année 1991.

Liste des figures

- Figure 1 schéma d'une macromolécule ramifié
- Figure 2 schéma d'une macromolécule en réseau ou réticulé
- Figure I.1 vis de plastification
- Figure I.2 Différentes zones de la vis de plastification
- Figure I : La machine de moulage par injection
- Figure II : vue avant et arrière de la machine de moulage par injection
- Figure 2.1.3 schéma de principe de la compensation globale
- Figure 2.2.1 caractéristiques générales du réseau
- Figure 2.2.2 bibliothèque des symboles
- Figure 2.2.3 résultat du bilan de puissance
- Figure 2.2.4 résultat de calcul du réseau
- Figure II.2 Symbole du compresseur intégré
- Figure II.3 Unité de conditionnement FRL
- Figure II.6 Structure d'un système automatisé de production
- Figure II.7 Etage de puissance
- Figure II.8 Illustration d'une Electrovanne
- Figure II.15 Schéma d'un contacteur
- Figure II.17 Vue en coupe d'un vérin
- Figure II .19 Vérins à double effet.
- Figure II.20 Illustration d'un Moteur asynchrone
- Figure II.26 Système proximité
- Figure II.27 La Partie commande (PC) dans un système automatisé
- Figure III.1 Eléments de Grafcet
- Figure III.2 Une étape active.
- Figure III.3 Une étape inactive
- Figure III.4 Une étape initiale
- Figure III.5 Une étape source

Figure III.6 Une étape puit

Figure III.7 Convergence en ET

Figure III.8 Divergence en ET

Figure III.9 Convergence en OU.

Figure III.10 Divergence en OU

Figure III.11 Saut d'étapes

Figure III.12 Reprise de séquence

Figure III.13 Exemple de Grafset

Figure IV.1 L'automate et son environnement

Figure IV.2 L'automate S7-300

Figure IV.3 L'automate S7-300

Figure IV.4 La représentation graphique de la CPU

Figure IV.5 La CPU 314.

Figure IV.6 Exemple d'adressage des modules de signaux TOR

Figure IV.7 Exemple de représentation de la partie opérande

Figure IV.8 Vue de l'ensemble de l'automatisme

Figure IV.9 Structure du programme.

Figure IV.10 Combinaison en ET représentée par les langages de programmation

Figure IV.11 Création d'un projet en STEP 7

Figure IV.12 Assistant de STEP7, nouveau projet

Figure IV.13 Choix de la CPU

Figure IV.14 Blocs et langage de programmation utilisés

Figure IV.15 Intitulation du projet

Figure IV.16 Répertoires de la station SIMATIC

Figure IV.17 Etapes nécessaires pour la configuration matérielle

Figure IV.18 Configuration du matériel

Figure IV.19 Exemple de programmation

Liste des tableaux

Tableau II.1 Les caractéristiques techniques fournies pour l'eau de refroidissement

Tableau 2.1.1 facteur d'utilisation K_u en fonction du type de récepteur

Tableau 2.1.2 facteur de simultanéité K_{s_r} en fonction du nombre d'abonnés

Tableau 2.1.3 facteur de simultanéité K_{s_a} en fonction des récepteurs

Tableau 2.1.4 facteur de simultanéité K_{s_c} en fonction du nombre de circuits

Tableau 2.1.5 Evaluation des puissances au niveau des départs de la cellule N°1

Tableau 2.1.6 Evaluation des puissances au niveau des départs de la cellule N°2

Tableau 2.1.7 Evaluation des puissances au niveau des départs de la cellule N°3

Tableau 2.1.8 transfo triphasés immergés dans un diélectrique liquide-valeurs calculées pour $U= 420$

Tableau 2.2.1 Logigramme du choix de la section des canalisations et du dispositif de protection

Tableau 2.2.2 mode de pose pour les lettres de sélection C, E et F.

Tableau 2.2.3 Câbles et conducteurs posés à l'air libre

Tableau 2.2.4 facteur de correction pour pose en plusieurs couches

Tableau 2.2.5 facteurs de correction pour groupement de plusieurs circuits ou plusieurs câbles multiconducteurs

Tableau 2.2.6 facteurs de correction pour les températures ambiantes

Tableau 2.2.7 extrait du tableau des courants admissibles

Tableau 2.2.8 courant admissible dans les canalisations en (A)

Tableau 2.2.9 section du conducteur de protection en fonction de la section des conducteurs de phase

Tableau 2.2.10 transformateurs triphasés immergés dans un diélectrique liquide-valeurs calculées pour $U= 420$

Tableau 2.2.11 réactance linéique des conducteurs à utiliser en fonction du type de câble et de son mode de pose

Tableau 2.2.12 valeur de K pour les conducteurs actifs et de protection

Tableau 2.2.13 sections et protections du réseau amont et aval du TGBT

Tableau 2.2.14 sections et protections de la cellule N°1

Tableau 2.2.15 sections et protections de la cellule N°2

Tableau 2.2.16 sections et protections de la cellule N°3

Tableau 2.2.17 sections et protections de la cellule N°1 et 2 (suite)

Tableau 2.2.18 sections et protections de la cellule N°3 (suite)

Tableau IV.1 Les modules d'alimentation