

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE  
N° :....**



**FILIERE : HYDRAULIQUE  
OPTION : RESSOURCES  
HYDRAULIQUE**

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Intitulé**

**Contrôle de turbidité et aménagement d'un  
système de captage d'eau sur rivière**

**Réalisé par : HICHAM CEMOURI**

**Encadreur : Mr. MAHDI djallel**

**Co-Encadreur : Mr. ADJISSI Omar**

**Année universitaire : 2022 /2023**

**Résumé :**

Dans ce travail, nous avons conçu et intégré un système automatisé à l'aide d'un contrôleur logique programmable Zelio-logic, dans un ouvrage hydraulique de captage d'eau sur rivière.

Ce système automatisé conçu permet de contrôler la pompe et le vérin hydraulique, où ce dernier fonctionne en fonction de la turbidité de l'eau. La pompe s'allume et s'éteint en fonction du niveau d'eau dans le réservoir.

**Abstract :**

In this work, we designed an automated system using a programmable logic controller Zelio-logic, and integrated it into a facility consisting of a water collection station connected to a valley.

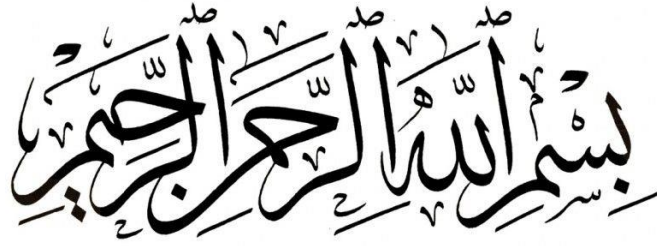
This designed automated system allows the pump and winch to be controlled Hydraulic, where the latter works based on the turbidity of the water

The pump turns on and off according to the water level in the tank.

**ملخص:**

في هذا العمل قمنا بتصميم نظام آلي باستخدام وحدة التحكم المنطقية القابلة للبرمجة، و دمجها في منشأة تتكون من محطة لتجميع المياه متصلة بواد .

يسمح هذا النظام الآلي المصمم بالتحكم في المضخة و الرافعة الهيدروليكية حيث تعمل الاخيرة بناءا على عكارة الماء ان المضخة تشتغل وتتوقف ح سب منسوب المياه في الخزان.



## *Remerciements*

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a données au cours de ces longues années.

Nous tenons à remercier Dr.MAHDI DJALLEL d'avoir accepté de superviser nos recherches et nos conseils dans la conduite de ce travail.

Nous remercions également tous les professeurs du Département d'hydraulique

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux amis et aux collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre parcours d'étude

Enfin, nous remercions nos familles pour leurs aides

## *Dédicaces*

Je dédie cette thèse :

A ma mère et mon père qui m'ont soutenu et aidé tout au long de ma vie

Sans eux, je ne serais pas là où je suis. A mes chers frères et soeurs

A toute ma famille, à tous mes amis de l'Université de M'sila

Avec qui j'ai passé des moments intéressants et beaucoup appris.

## SOMMAIRE

|   |     |
|---|-----|
| <b>Introduction générale</b> .....  | 1   |
| <b>Chapitre I</b> : Etat de l'art de turbidité et aménagement du système de captage d'eau sur |     |
| I.1 Introduction.....   | 2   |
| <b>I.2 Turbidité</b> .....  | 3   |
| <b>II.3 : Méthodes d'analyse de turbidité</b> .....   | 3   |
| <b>II.3.1</b> : Unités, normes et plage de mesure de la turbidité.....                        | 5   |
| <b>II.3.2</b> : Relation entre la Turbidite NTU et TSS (mg/L) .....                           | 7   |
| <b>II.3.3</b> : Relation entre la tension et la matière en suspension (TSS).....              | 7   |
| <b>II.3.4</b> : Relation entre la tension et turbidité .....                                  | 8   |
| <b>II.4</b> : Différents type de capteur de turbidité .....                                   | 8   |
| <b>II.4.1</b> : Capteur de turbidité SEN0189 .....  | 9   |
| <b>II.4.2</b> : Caractéristiques.....   | 9   |
| <b>II.4.3</b> : Capteur de turbidité JUMO ecoLine [9].....                                    | 9   |
| <b>II.4.4</b> : Caractéristiques.....   | 11  |
| <b>II.4.1</b> : Dimensions .....  | 12  |
| <b>II.4.2</b> : Raccordement électrique .....   | 12  |
| <b>II.4.3</b> : Câble fixe avec embouts .....   | 12  |
| <b>II.4.4</b> : Câble fixe avec connecteur M12, codage A .....                                | 13  |
| <b>I.5</b> : Composants électromécanique inclus dans la zone de captage d'eau .....           | 14. |
| <b>I.5.1</b> : Vérin hydraulique et distributeur .....  | 14  |
| <b>I.5.1.1</b> : Vérin simple effet .....   | 14  |
| <b>I.5.2</b> : Dimensionnement .....  | 15  |
| <b>I.5.2.1</b> : Vérin simple effet .....   | 15  |
| <b>I.5.2.2</b> : Vérin double effet .....   | 15  |
| <b>II.5.3</b> : Distributeur .....  | 16  |

|  |    |
|--|----|
| <b>I.6 Les pompes:</b> .....   | 17 |
| I .6.1 : Différents types des pompes .....   | 18 |
| I.6.1.1 Pompe volumétrique .....   | 18 |
| I.6.1.1.1 Les pompes volumétriques alternatives .....  | 18 |
| I.6.1.1.1.1 Pompe à piston:.....   | 18 |
| I.6.1.1.1.2 Pompes à membranes ou à soufflets .....  | 18 |
| I.6.1.1.2 Pompes rotatives : .....   | 19 |
| I.6.1.1.2.1 Pompes à palettes :.....   | 20 |
| I.6.1.1.2.1.1 Pompes à palettes libres: .....  | 20 |
| I.6.1.1.2.1.2 Pompes à palettes flexibles: .....   | 21 |
| I.6.1.2 Pompes roto-dynamique: .....   | 21 |
| I.6.1.2.2 Classification des pompes roto-dynamiques :.....   | 21 |
| I.6.1.2.2.1 Les pompes centrifuges: .....  | 23 |
| <br>   |    |
| <b>I.7:</b> Description de la zone d'étude et aménagement du système de captage d'eau sur rivière...23 |    |
| I.7.1: Composants hydraulique du système.....  | 26 |
| <br>   |    |
| <b>Conclusion</b> .....  | 30 |
| <br>   |    |
| <b>Chapitre II</b> Matériels électriques et automatiques inclut au système de contrôle de turbidité    |    |
| II.1 Introduction .....  | 31 |
| <b>II.2</b> Structure de base des systèmes automatisés : .....   | 31 |
| II.2.1 Capteur.....  | 32 |
| II.2.1.1 Capteur de niveau.....  | 32 |
| II.2.1.1.1 Capteur à mesure par pression : .....   | 32 |
| II.2.1.1.2 Capteur à mesure par onde : .....   | 33 |
| II.2.1.1.3 Capteur à mesure par contact : .....  | 33 |
| II.2.1.2 Capteur de Turbidité : .....  | 33 |
| II.2.2 Choix d'un capteur:.....  | 33 |
| II.2.3 Actionneurs : .....   | 34 |
| II.2.4 Automate (PC):.....   | 34 |
| II.2.4.1 Critères de choix d'un automate: .....  | 35 |
| II.2.4.2 Architecture matérielle et logicielle de l'automate : .....                                   | 36 |
| II.2.4.2.1 Automate programmable:.....   | 37 |
| II.3 Matériels internes de l'automate : .....  | 37 |
| II.3.1 Processeur:.....  | 38 |
| II.3.2 Interface d'entrée : .....  | 39 |
| II.3.3 Interface de sortie :.....  | 39 |
| II.3.4 Mémoire:.....   | 40 |
| II.3.5 Interface de communication et de liaison :.....   | 41 |
| <b>II.4</b> Matériels externes de l'automate (Auxiliaires) : .....                                     | 41 |
| II.4.1 Fonctionnement d'un automate : .....  | 41 |
| II.5 Programmation d'un automate.....  | 42 |
| II.5.1 Principe de programmation en GRAFCET .....  | 43 |

|  |           |
|--|-----------|
| II.5.1.1 : Etape.....  | 43        |
| II.5.1.2 : Action associée à une étape.....  | 44        |
| II.5.1.3 : Transition .....  | 44        |
| II.5.1.4 : Règles d'évolutions.....  | 45        |
| <b>II.6 : Présentation du logiciel ZilioSoft 2 en mode de programmation FBD .....</b>        | <b>46</b> |
| <b>II.6.1: Principe de programmation en FBD (Function Block Diagram) .....</b>               | <b>46</b> |
| II.6.1.1 Fenêtre d'édition.....  | 46        |
| II.6.1.2 Description des éléments.....   | 47        |
| II.6.1.3 Fenêtre de supervision/monitoring.....  | 48        |
| II.6.2 : Les éléments du langage FBD .....   | 50        |
| <b>II.6.2.1 : Les différents blocs d'entrées.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>II.6.2.2 : Entrée Tout ou Rien (TOR) filtrée .....</b>                                    | <b>51</b> |
| II.6.2.3 : Entrée analogique.....  | 52        |
| II.6.2.4 : Entrée d'un entier.....   | 53        |
| II.6.2.5 : Les entrées spéciales dans le langage FBD .....                                   | 53        |
| <u>II.6.2.6: Les différents blocs de sorties.....</u>  | <u>55</u> |
| <u>II.6.2.7 : Les fonctions logiques.....</u>  | <u>57</u> |
| II.6.3. Présentation des fonctions SFC.....  | 58        |
| <b>II.6.3.1.: Utilisation des étapes et transitions SFC.....</b>                             | <b>59</b> |
| <b>II.6.3.1.1 : Description .....</b>  | <b>59</b> |
| <b>II.6.3.1.2 : Fonctionnement .....</b>   | <b>60</b> |
| <b>II.6.3.1.3 : Utilisation des divergences ET .....</b>                                     | <b>62</b> |
| <b>II.6.3.1.4: Utilisation des divergences OU .....</b>                                      | <b>63</b> |
| <b>II.6.3.1.5 : Utilisation des convergences ET .....</b>                                    | <b>65</b> |
| <b>II.6.3.1.6: Utilisation des convergences OU .....</b>                                     | <b>68</b> |
| <b>II.6.3.1.6.1 : Description .....</b>  | <b>68</b> |
| <b>II.6.3.1.7 : Utilisation des boucles SFC.....</b>   | <b>70</b> |
| <b>II.6.3.1.8: Initialisation d'un graphe SFC au début d'un programme .....</b>              | <b>70</b> |
| II.6.3.1.8.1: Description.....   | 70        |
| <b>Conclusion :</b> .....  | <b>72</b> |
| <b><u>Chapitre III : Conception et implantation du système de contrôle de turbidité.</u></b> |           |
| <b>III.1 : Introduction .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>III.2: Cahier de charge et Conception du système de contrôle de turbidité.....</b>        | <b>73</b> |
| <b>III.3 : Partie commande .....</b>   | <b>73</b> |
| <b>III.3.1: Câblage des entrées et sorties de l'automate .....</b>                           | <b>73</b> |
| <b>III.3.2: Programmation de l'automate et principe de fonctionnement .....</b>              | <b>74</b> |
| <b>III.4 : Présentation de l'automate Zélio-logic de Schneider [5] .....</b>                 | <b>75</b> |
| <b>III.4.1 : Présentation de la face avant du module logique .....</b>                       | <b>75</b> |
| <b>III.4.2 : Touches de commandes de la face avant du module logique .....</b>               | <b>77</b> |
| <b>III.4.3 : Modes de programmation.....</b>   | <b>78</b> |
| <b>III.4.4 : Simulation du processus d'automatisme .....</b>                                 | <b>79</b> |
| <b>III.4.5 : Transfert du programme du PC vers l'automate.....</b>                           | <b>84</b> |
| <b>Conclusion .....</b>  | <b>84</b> |
| <b>Conclusion générale .....</b>   | <b>85</b> |

## Liste des figures

### Chapitre I : Etat de l'art de turbidité et aménagement du système de captage d'eau sur

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure I. 1</b> . Différentes mesures de turbidité .....  | 3  |
| <b>Figure I. 2</b> . Principe de mesurage par néphélométrie (ONEMA, 2015).....   | 4  |
| <b>Figure I. 3</b> . Principe de mesurage par atténuation (ONEMA, avril 2015).....   | 5  |
| <b>Figure I. 4</b> . (a) and (b). Resultas fait par l'expérience de Mohd Zubir and Bashah.....                                       | 8  |
| <b>Figure I. 5</b> . capteur JUMO ecoLine NTU .....  | 8  |
| <b>Figure I. 6</b> . la courbe de la valeur absolut de la tension V en fonction du changement de la turbidite (capteur SEN189) ..... | 9  |
| <b>Figure I. 7</b> . capteur JUMO ecoLine NTU .....  | 10 |
| <b>Figure I. 8</b> . Principe de mesure du capteur de turbidité JUMO .....   | 11 |
| <b>Figure I. 9</b> . Dimensions le capture de JUMO ecoLine NTU .....   | 12 |
| <b>Figure I. 10</b> <i>Vérin simple effet</i> .....  | 14 |
| <b>Figure I. 11</b> . Vérin double effet .....   | 14 |
| <b>Figure I. 12</b> . Vérin double effet 2 tiges.....  | 14 |
| <b>Figure I. 13</b> . <i>Distributeur 4/2 à tiroir plan</i> .....  | 16 |
| <b>Figure I. 14</b> . Symboles des distributeurs 4/3 et 4/2.....   | 16 |
| <b>Figure I. 15</b> . Montage d'une pompe en aspiration et en charge .....   | 17 |
| <b>Figure I. 16</b> . classification des pompes.....   | 17 |
| <b>Figure I. 17</b> . Principe pompe à piston .....  | 18 |
| <b>Figure I. 18</b> . Pompe à membranes .....  | 19 |
| <b>Figure I. 19</b> . fonctionnement pompes volumétriques alternatives .....   | 20 |
| <b>Figure I. 20</b> . <b>Pompes à palettes libres</b> .....  | 20 |
| <b>Figure I. 21</b> . <b>Pompes à palettes flexibles</b> .....   | 21 |
| <b>Figure I. 22</b> . Représentation des domaines respectifs des trois types de pompes roto-dynamiques .....                         | 21 |
| <b>Figure I. 23</b> . Domaines d'utilisation des pompes industrielles roto-dynamiques .....  | 22 |
| <b>Figure I. 24</b> . Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux. ....  | 22 |
| <b>Figure I. 25</b> . Pompe multicellulaire .....  | 22 |
| <b>Figure I. 26</b> . Schéma d'une pompe .....   | 23 |
| <b>Figure I. 27</b> . <i>schéma global de système de captage réalisé par Autocad</i> .....   | 24 |
| <b>Figure I. 28</b> . L'implantation des capteurs, du vérin et de la pompe dans le système de captage (cas vanne ouverte).....       | 24 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure I. 29</b> . L'implantation des capteurs, du vérin et de la pompe dans le système de captage (cas vanne fermée)..... | 25 |
| <b>Figure I.30</b> . Dégrilleur mécanique .....   | 26 |
| <b>Figure I. 31</b> . Crépine .....   | 28 |
| <b>Figure I. 32</b> . type de conduite PEHD .....   | 29 |

## Chapitre II : Matériels électriques et automatiques inclut au système de contrôle de turbidité

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure II. 1.</b> Structure fonctionnel d'un système automatisé.....                         | 31 |
| <b>Figure II. 2.</b> Principe de mesure de niveau par capteur de pression .....                 | 32 |
| <b>Figure II. 3.</b> Capteur de niveau acoustique .....   | 33 |
| <b>Figure II. 4.</b> Photo du capteur flotteur.....   | 33 |
| <b>Figure II. 5.</b> Photo de deux automates.....   | 36 |
| <b>Figure II. 6.</b> Aspect extérieur d'un automate Zélio logic.....                            | 37 |
| <b>Figure II. 7.</b> Structure interne de l'automate .....                                      | 38 |
| <b>Figure II. 8.</b> Schéma électronique d'un port d'entrée .....                               | 39 |
| <b>Figure II. 9</b> Schéma électronique d'un port de sortie.....                                | 40 |
| <b>Figure II. 10.</b> Représentation d'une Etape .....  | 43 |
| <b>Figure II. 11.</b> Représentation d'une Etape Initiale.....                                  | 43 |
| <b>Figure II. 12.</b> Représentation d'une action.....  | 43 |
| <b>Figure II. 13.</b> Représentation d'une Transitions .....                                    | 44 |
| <b>Figure II. 14.</b> Principe synthétique du GRAFCET .....                                     | 44 |
| <b>Figure II. 15.</b> initialisation d'une étape.....   | 45 |
| <b>Figure II. 16.</b> Transition non simultanément franchissable.....                           | 46 |
| <b>Figure II. 17.</b> suivante présente un exemple d'une fenêtre d'édition en langage FBD.....  | 47 |
| <b>Figure II. 18.</b> présente la barre de fonctions des entrée.....                            | 48 |
| <b>Figure II. 19.</b> présente la barre de fonctions standards.....                             | 49 |
| <b>Figure II. 20.</b> présente la barre de fonctions SFC.....                                   | 49 |
| <b>Figure II. 21.</b> présente la barre de fonctions logiques.....                              | 49 |
| <b>Figure II. 22.</b> présente la barre de fonctions sorties.....                               | 50 |
| <b>Figure II. 23.</b> présente le grafcet précédant avec les fonctions SFC du langage FBD ..... | 59 |
| <b>Figure II. 24.</b> étape 1 active (état stable).....   | 61 |
| <b>Figure II. 25.</b> transition 1 active (état fugitif).....                                   | 61 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figure II. 26 .</b> étape 2 active (état stable) .....  | 61  |
| <b>Figure II. 27.</b> transition 2 active (état fugitif).....  | 61  |
| <b>Figure II. 28 .</b> étape B01 active (état stable) .....  | 62  |
| <b>Figure II. 29</b> transition 1 active (état fugitif).....   | 63  |
| <b>Figure II. 30 .</b> étape 3 et 4 actives (états stables).....   | 63  |
| <b>Figure II. 31 .</b> Exemple d'une seule des deux transitions du choix est active (étape B01 active<br>.....                       | 64  |
| <b>Figure II. 32 .</b> étape B03 active (état stable) .....  | 64  |
| <b>Figure II. 33 .</b> étape B01 active (état stable) .....  | 65  |
| <b>Figure II. 34</b> Exemple pour deux transitions sont passantes à la fois (transition 1 et 2 de B01<br>actives (état fugitif ..... | 65  |
| <b>Figure II. 35 .</b> étape 1 et 2 de B01 simultanément actives (état stable): .....  | 65  |
| <b>Figure II. 36 .</b> étapes B02 et B03 active (états stables):.....  | 66  |
| <b>Figure II. 37 .</b> transition B01 active (état fugitif).....   | 66  |
| <b>Figure II. 38 .</b> étape B02 active (état stable): .....   | 67  |
| <b>Figure II. 39 .</b> seule l'étape 1 active (état stable) mais l'étape 2 est non active.....                                       | 67  |
| <b>Figure II. 40 .</b> transition B01 active (état stable) .....   | 67  |
| <b>Figure II. 41 .</b> Exemple étape 1 de B01 active (état stable) et transition B01 active (état fugitif....                        | 68  |
| <b>Figure II. 42 .</b> Exemple étape 1 de B04 active (état stable).....  | 69  |
| <b>Figure II. 43 .</b> Exemple étape de B01 et de B02 simultanément actives (état fugitif) .....                                     | 69  |
| <b>Figure II. 44 .</b> Exemple de transition B01 et B02 simultanément actives ( état fugitif ).....                                  | 69. |
| <b>Figure II. 45.</b> Exemple étape B04 active (état stable).....  | 70  |
| <b>Figure II. 46 .</b> Exemple étape B01 active (état stable) .....  | 70  |
| <b>Figure II. 47 .</b> Exemple de l'étape de B01 et B02 simultanément actives (états stables) .....                                  | 71  |
| <b>Figure II. 48 .</b> Exemple étape de B01 et B02 simultanément actives dans 2 graphes SFC disjoints<br>(états stables) .....       | 72  |

### **Chapitre III : Conception et implantation du système de contrôle de turbidité.**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure III. 1.</b> Indication des variable d'entrées/sorties du Système de commande ..... | 73 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure III. 2.</b> Implantation de l'automate Zelio logic dans l'armoire de commande et contrôle de turbidité..... | 74 |
| <b>Figure III. 3.</b> système de commande en langage GRAFCET .....  | 75 |
| <b>Figure III. 4.</b> Description de la face avant du module logique.....   | 76 |
| <b>Figure III. 5.</b> Afficheur LCD de l'automate Zélio logic .....   | 77 |
| <b>Figure III. 6.</b> Situation des touches sur la face avant de l'automate Zélio logic.....                          | 77 |
| <b>Figure III. 7.</b> la face avant du module .....   | 78 |
| <b>Figure III. 8.</b> schéma représentant le programme en FBD .....   | 79 |
| <b>Figure III. 9.</b> exécution du programme en mode simulation .....   | 79 |
| <b>Figure III. 10.</b> Schéma de la simulation à l'étape 1 (initial))... ..   | 80 |
| <b>Figure III. 11.</b> système à l'étape initial vanne fermée et pompe en arrêt.....                                  | 80 |
| <b>Figure III. 12.</b> Schéma de la simulation du fonctionnement du système à l'étape 2.....                          | 81 |
| <b>Figure III. 13.</b> Schéma représentant vanne ouverte et pompe en arrêt lorsque le système passe à l'étape 2 ..... | 81 |
| <b>Figure III. 14.</b> Schéma de la simulation du fonctionnement du système aux étapes 2, 4, 7 et 5.....              | 81 |
| <b>Figure III. 15.</b> Schéma représentant vanne fermée et pompe en arrêt lorsque le système passe à l'étape 5.....   | 82 |
| <b>Figure III. 16.</b> Schéma de la simulation du fonctionnement du système aux étapes 6 et 8. ....                   | 82 |
| <b>Figure III. 17.</b> Schéma vanne ouverte et pompe en marche lorsque le système passe aux étapes 6 et 8.....        | 82 |
| <b>Figure III. 18.</b> Schéma de la simulation du fonctionnement du système aux étapes 5 et 6 .....                   | 83 |
| <b>Figure III. 19.</b> Schéma vanne fermée et pompe en marche lorsque le système passe aux étapes 6 et 8.....         | 83 |
| <b>Figure III. 20.</b> raccordement PC avec le module Zelio-logic SR3B101BD pour l'étape de flashage .....            | 84 |
| <b>Figure III. 21 :</b> Transfert du programme du PC vers le module.....  | 84 |

## Liste des tableaux

### Chapitre I :

|   |    |
|---|----|
| <b>Table I. 1 . Normes encadrant la mesure de la turbidité (d'après J. Trevathan et al., 2020)</b><br>..... | 6  |
| <b>Table I. 2. Caractéristiques le capture de JUMO ecoLine NTU</b> .....                                    | 11 |
| <b>Table I. 3.Câble fixe avec embouts</b> .....   | 13 |
| <b>Table I. 4.raccordement au bus JUMO digiLine</b> .....   | 13 |
| <b>Table I. 5.Les avantages et les inconvénients des pompes à membranes</b> .....                           | 19 |
| <b>Tableau1.6 :Calcul des dimensions de la grille</b> .....   | 27 |

## **Introduction générale**

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau. Cette caractéristique vient de la teneur de l'eau en particules en suspension, associées au transport de l'eau, notamment après la pluie. En effet la turbidité perturbe la désinfection de l'eau lors du traitement, alors cette étude est là pour minimiser et remédier ce problème indésirable. Techniquement, le principe de mesure de turbidité repose sur l'émission et la réception du signal lumineux par le capteur. Cette turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être diffractée ou absorbée par des particules.

Dans ce projet on cherchera particulièrement les points de mesure de turbidité adaptés aux calculs de la vitesse d'écoulement d'eau, pour implanter ces capteurs aux endroits exacts, permettant ainsi le système de contrôle d'agir au temps sur l'action d'empêcher l'eau trouble de s'écouler vers les chambres de réception des eaux de captage.

À partir de là notre sujet sera porté en trois chapitres :

Le premier chapitre sera consacré à la description de la zone d'étude et à l'aménagement du système de captage d'eau, par la suite le second chapitre évoquera les matériels électriques et automatiques nécessaires au système de contrôle de turbidité. En effet le dernier chapitre fera l'objet de la solution du problème, par la mise en œuvre d'un point de vue conception et implantation du système de contrôle de turbidité automatique.

---

# *Chapitre I*

Etat de l'art de turbidité et  
aménagement du système de  
captage d'eau sur rivière

---

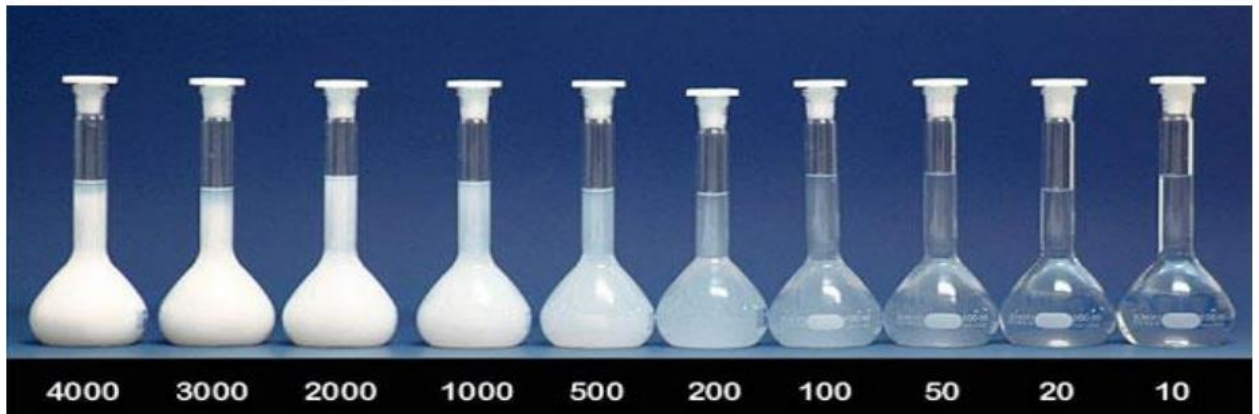
## **I.1 Introduction**

L'automatisation des équipements hydrauliques par le contrôle de turbidité sur rivière va optimiser et améliorer les coûts, la qualité et même la continuité du traitement des eaux dans les stations de traitement. Cependant cette automatisation doit être maîtrisée par connaissances des notions de bases des systèmes automatisés d'une part, et par le savoir-faire des aménagements hydraulique.

## **I.2 Turbidité**

La turbidité est une mesure de la clarté optique de l'eau. Elle nous donne une idée à la quantité de matières en suspension, telles que des particules minérales, des sédiments, des organismes microscopiques ou des substances organiques, présentes dans l'eau. Une eau turbide apparaît trouble, tandis qu'une eau claire a une faible turbidité. La turbidité est un indicateur important de la qualité de l'eau, car une forte turbidité peut indiquer une pollution de l'eau. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite [1]. Elle est causée par diverses matières particulaires ou colloïdales composées de limon, d'argile, de composés organiques ou inorganiques ainsi que du plancton et d'autres micro-organismes. Les sources de matières particulaires peuvent être d'origine naturelle (acides humiques, particules provenant de la dégradation des végétaux ou de l'érosion du sol) ou anthropique (rejets industriels, agricoles et urbains) (US EPA, 1999). Dans le réseau de distribution, après le traitement de l'eau, la turbidité peut s'accroître par la post-floculation de coagulants résiduels dissous, la recroissance de micro-organismes, la remise en suspension de la matière déposée dans les canalisations ainsi que par la corrosion de la tuyauterie (Santé Canada, 1995).

La mesure de la turbidité est un test clé de la qualité de l'eau. La turbidité affecte la transmission de la lumière à travers l'eau et peut être mesurée à l'aide d'un appareil appelé turbidimètre. Dans la plupart de cas, une concentration totale de solides en suspension inférieure à 20 mg/L semble claire, tandis que les niveaux supérieurs à 40 mg/L peuvent commencer à paraître troubles. En comparaison, une mesure de turbidité inférieure à 5 NTU semble claire, tandis qu'une mesure de 55 NTU commencera à paraître trouble et une mesure supérieure à 500 NTU semblera complètement opaque voir la figure 1 [2]



**Figure I.1:** Différentes mesures de turbidité [2]

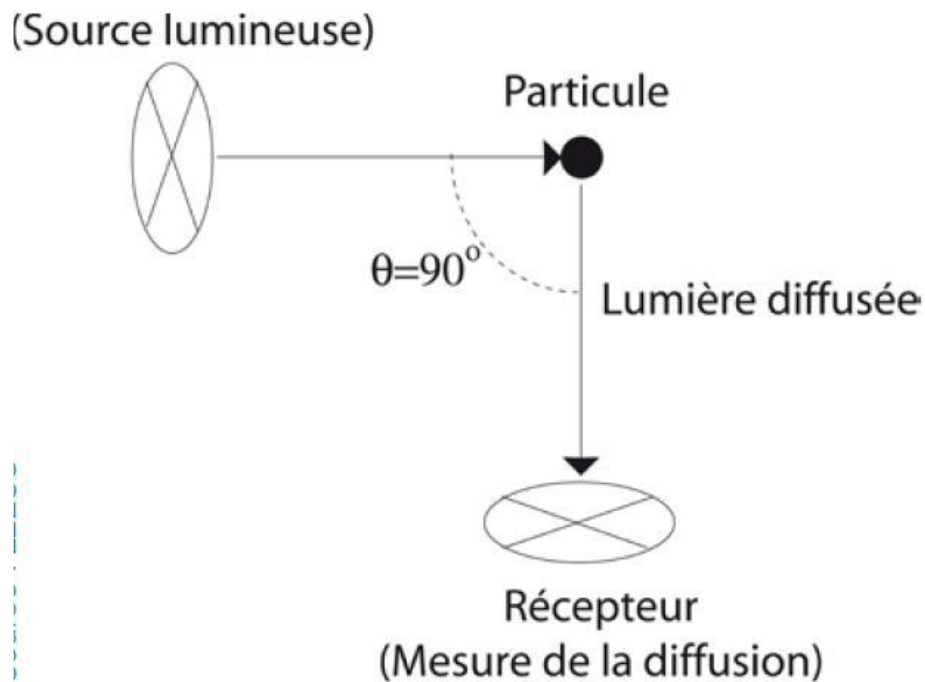
### **I.3 Méthodes d'analyse de turbidité**

La première méthode de mesure utilisée était le turbidimètre à bougie de Jackson, constitué d'une bougie à luminosité normalisée située sous un tube contenant l'eau à évaluer. Une unité Jackson de turbidité (UJT) correspond approximativement à la hauteur de la colonne d'eau à laquelle la flamme cesse tout juste d'être visible par le dessus de cette colonne (US EPA, 1999).

Bien que l'on retrouve encore des références à la méthode de Jackson, des turbidimètres néphélométriques sont maintenant utilisés; ils mesurent l'intensité de la lumière déviée à un angle de 90° par rapport à la lumière incidente qui traverse en ligne droite l'échantillon à analyser. Un angle de diffusion de 90° est celui qui est le moins sensible à diverses interférences comme la dimension et la forme des particules. Une suspension de formazine est habituellement utilisée comme étalon pour étalonner un néphélomètre. Il est cependant difficile de corréler la turbidité à une concentration massique de solides car la taille, la forme et l'indice de réfraction influent sur la diffusion de la lumière et sont sans lien avec la masse. C'est pourquoi la turbidité est évaluée en unités néphélométriques de turbidité (UNT) et non en termes de concentration de matières en suspension (MES) par volume d'eau (en mg/l, par exemple) (APHA-AWWA-WEF, 1998; Santé Canada, 1995).

La limite de détection habituelle des néphélomètres utilisée dans les laboratoires est de l'ordre de 0,1 UNT, ce qui correspond à environ 20 particules/ml; une turbidité de 0,5 UNT équivaut à environ 1 000 particules/ml alors que 5 UNT correspondent à environ 20 000 particules/ml (Santé Canada, 1995). Une turbidité supérieure à 5 UNT est généralement visible à l'oeil, ce qui peut amener la majorité des consommateurs à rejeter une telle eau (Santé Canada, 1996).

La méthode de mesure par néphélométrie consiste en l'utilisation d'un récepteur positionné à  $90^\circ$  par rapport à la source émettrice comme schématisé par la figure 1. Plus la turbidité du milieu est élevée, plus la diffusion de la lumière par les particules en suspension sera importante et plus le récepteur percevra donc de lumière. Le signal émis par le récepteur est donc d'autant plus fort que la turbidité est importante.



**Figure I.2:** Principe de mesurage par néphélométrie (ONEMA, 2015)

En ce qui concerne la mesure par atténuation, une source lumineuse émettrice est placée en face d'un récepteur. La solution dont la turbidité doit être déterminée se situe entre l'émetteur et le récepteur comme montré à la figure 2. Plus la turbidité est importante et plus la lumière sera absorbée et diffusée et donc plus l'intensité lumineuse perçue par le récepteur sera faible. Le signal émis par le récepteur est d'autant plus faible que la turbidité est élevée

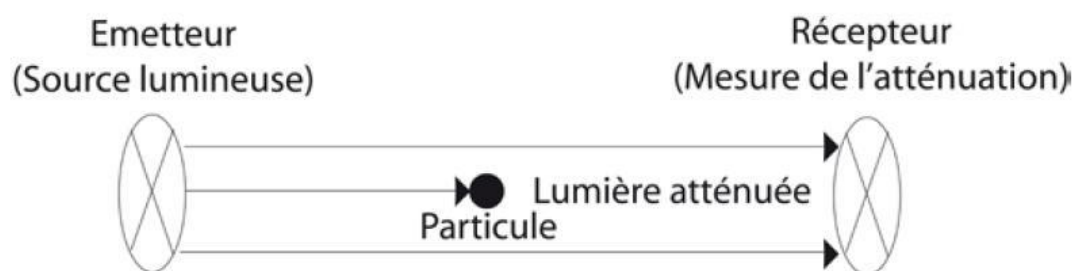


Figure I.3 : Principe de mesurage par atténuation (ONEMA, avril 2015)

La méthode de mesure par néphélométrie s'utilise en assainissement pour des turbidité moins importantes que la mesure par atténuation. Ainsi, une mesure par atténuation peut s'effectuer sur des plages de 0 à 2000 FAU (Formazine Attenuation Unit) tandis que celle par néphélométrie s'utilise sur des plages de 0 à 1000 FAU. D'autres angles de mesure peuvent être utilisés. C'est particulièrement le cas pour les sondes professionnelles qui effectuent souvent leur mesure sous quatre angles différents.

Pour effectuer ces mesures, des LED fonctionnant avec des longueurs d'onde dans le proche infrarouge sont privilégiées. En effet, le proche infrarouge permet de faire abstraction de la couleur des sédiments ou des organismes en suspension. D'autres solutions utilisant des caméras (Yuanyang Zhu et al., 2020) ou des fibres optiques (Filipa Sequeira et al., 2019 ; Michael Metzger et al., 2018) ont aussi été étudiées avec des résultats satisfaisants. Les mesures de la turbidité par néphélométrie et atténuation restent toutefois les plus répandues en recherche comme par les opérationnels.

### I.3.1 Unités, normes et plage de mesure de la turbidité:

La turbidité peut s'exprimer dans différentes unités en fonction des normes de mesures utilisées. Il n'existe pas de relation évidente entre la turbidité et les grandeurs du Système International d'unités. La turbidité peut varier en fonction de différents paramètres comme la nature des particules en suspension, leur taille, leur minéralogie, leur couleur, la longueur d'onde utilisée pour la mesure, etc. Les unités se rattachent donc à des normes établissant un protocole à suivre pour garantir l'écriture de la turbidité dans l'unité souhaitée.

Ainsi, la norme NF EN ISO 7027 (2000) traite de la détermination de la turbidité. Elle préconise des mesures effectuées avec un rayonnement devant être de  $860 \text{ nm} \pm 30 \text{ nm}$  ; « les résultats obtenus étant assez sensibles à la longueur d'onde » (ONEMA, 2015). Cette

norme spécifique également les étalons à utiliser, des suspensions d'un polymère organique appelé la formazine de formule  $C_2H_4N_2$ . Deux mesures sont associées à cette norme : la FAU (Formazine Attenuation Unit) et la FNU (Formazine néphélométric unit) en fonction de la méthode utilisée.

Les NTU (Nephelometric Turbidity Units) sont une unité définie par l'Agence de Protection de l'Environnement (EPA) aux États-Unis qui correspond à une mesure par diffusion en lumière blanche. Bien que la majorité des sondes présentées dans la littérature et disponibles dans l'Annexe 1 fonctionne avec des LED infrarouges et ne respecte donc pas complètement cette norme, c'est l'unité la plus utilisée pour présenter les données.

Une quatrième unité, la FTU pour Formazin Turbidity Unit est aussi utilisée mais n'est pas normalisée. « Elle fait bien référence à l'étalon Formazine, mais ne donne aucune indication sur le principe de mesure utilisé. Elle peut être considérée comme une unité locale, propre à chaque utilisateur, qui interdit toute comparaison entre résultats obtenus par des utilisateurs différents » (ONEMA, 2015).

D'autres normes existent et sont présentées dans le tableau 2. La majorité d'entre elles se basent sur une mesure par néphélométrie mais utilisent des sources de lumière différentes. La sonde présentée dans ce travail ne suivant pas de norme particulière, les données seront présentées sous forme de tensions. Pour se raccorder à une norme, il suffira de calibrer la sonde avec des solutions étalons.

| <b>Norme</b>             | <b>Source lumineuse</b>   | <b>Méthode</b>  |
|--------------------------|---|---|
| EPA Method 180.1         | Lampe tungstène avec une température de couleur de 2000 à 3000 K                            | Technologie néphélométrique qui mesure la lumière diffusée avec un angle de 90° avec la source d'émission                       |
| ISO 7027                 | Source lumineuse monochromatique de longueur d'onde 860 nm et une bande de largeur de 60 nm | Nécessite un angle de 90° avec 2,5° d'erreur autorisés entre la source et le récepteur  |
| Méthode Hach 10133       | LED laser rouge de longueur d'onde 630 nm   | Technologie néphélométrique qui mesure la lumière diffusée avec un angle de 90° avec la source d'émission                       |
| Méthodes standards 2130B | Lampe à filament tungstène avec une température de 2200 à 3000 K                            | Le photodétecteur doit être centré sur un angle de 90°  |
| Atténuation lumineuse    | Sources lumineuses infrarouges  | Perte lumineuse entre une source et un capteur situé devant (180°)  |
| Tube de turbidité        | Lumière du soleil   | Placer l'échantillon dans un tube avec le fond tourné vers le soleil et prendre la mesure lorsque le disque n'est plus visible. |

**Tableau I.1 :** Normes encadrant la mesure de la turbidité (d'après J. Trevathan et al., 2020)

En fonction du matériel utilisé, les sondes de turbidité bas-coût disposent de différentes plages de mesure pour lesquelles elles sont efficaces. Tandis que certains appareils cherchent à être performants dans un domaine de mesure précis comme celui des eaux potables où la turbidité est très faible et nécessite une précision importante comme celle proposée par *Theofanis P. Lambrou et al., 2013*, d'autres acceptent des plages plus importantes, souvent allant jusqu'à 1000 NTU et parfois 4000 NTU (*Jarrold Trevathan et al., 2020*).

Pour établir ces plages de mesure, différentes possibilités de calibration ont été étudiées selon les auteurs. Les solutions les plus communes sont l'utilisation d'une solution de calibration normée comme la formazine, la préparation de solution de concentrations connues ou le recours à une sonde de turbidité professionnelle sur laquelle un calage est effectué.

### **I.3.2 Relation entre la Turbidite NTU et TSS (mg/L)**

Il existe différents paramètres qui peuvent être associés à la qualité de l'eau. Une des variables couramment mesurées et corrélées à la qualité de l'eau est la capacité de matières en suspension totales par litre d'eau pure (mg/L). D'autre part, la qualité de l'eau peut également être représentée par son apparence, qui est liée à sa clarté et spécifiquement définie comme la turbidité avec l'unité de mesure standard en NTU. [4, 5, 6]

$$NTU = a(TSS)^b \quad (1)$$

où a et b sont des coefficients estimés par régression et b est approximativement égal à un pour toutes les particules [5].

### **I.3.3 Relation entre la tension et la matière en suspension (TSS)**

La relation entre la tension et la turbidite Tss est represente experimentalement par la figure (5a,5b) et donner approximativement par la relation suivante [5] :

$$V=0.0034*T_{ss} -0.1095 \quad (2)$$

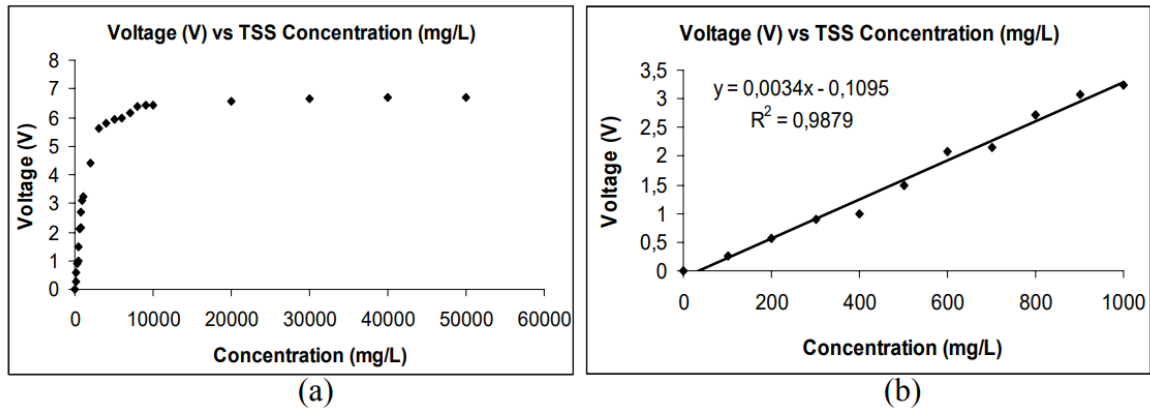


Figure I.4: (a) and (b). Resultas fait par l'expérience de Mohd Zubir and Bashah[5]

### I.3.4 Relation entre la tension et turbidité

On donne la relation entre la tension et la turbidité [ 7]

$$T = \beta_1 \times V_{90} + \beta_2 \quad (3)$$

$$T = -\beta_4 (\ln(V_{trans}) - \beta_3) \quad (4)$$

Où  $T$  désigne la turbidité du plan d'eau,  $V_{90}$  et  $V_{trans}$  sont les sorties de tension de l'unité de détection de lumière à 90 degrés et de l'unité de détection de lumière transmise respectivement. Les paramètres  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$  sont déterminés lors de l'étalonnage.

## I.4 Différents type de capteur de turbidité :

### I.4.1 Capteur de turbidité SEN0189

Capteur de turbidité TSS (Total Suspended Solids) compatible Gravity de DFRobot permettant de déterminer la quantité de particules en suspension dans un liquide en mesurant la transmittance de la lumière et la vitesse de diffusion.

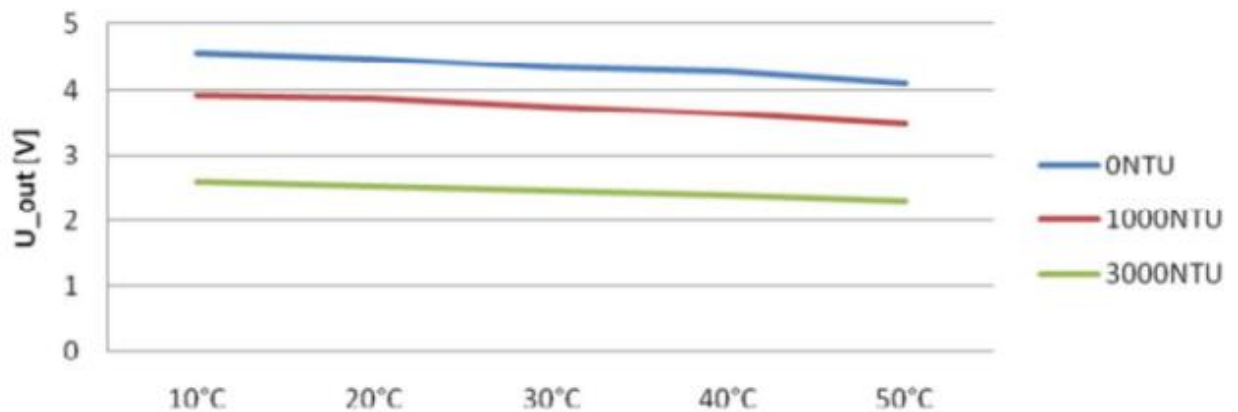


Figure I.5 : Capteur de turbidité TSS

#### I.4.1.1 Caractéristiques:

- Alimentation: 5 Vcc
- Consommation: 40 mA maxi
- Temps de réponse: < 500 ms
- Résistance d'isolation: 100 MΩ
- Sortie analogique: 0 à 4,5 Vcc
- Sortie digitale: niveau bas et haut à seuil ajustable via potentiomètre
- Température de service: 5 à 90 °C
- Dimensions: 38 x 28 x 10 mm
- Poids: 30 g

Référence DFRobot: [SEN0189](#)



**Figure I.6 :** la courbe de la valeur absolue de la tension V en fonction du changement de la turbidité (capteur SEN189) [8]

#### I.4.2 Capteur de turbidité JUMO ecoLine [9]

La mesure de turbidité suivant EN ISO 7027 est une mesure éprouvée pour surveiller des eaux qui présentent une turbidité faible à forte.

Le principe de mesure du capteur de turbidité JUMO ecoLine NTU est basé sur une mesure aux infrarouges, selon la méthode de diffusion de lumière à 90°. Grâce à la mesure de lumière à la longueur d'onde de 880 nm et à une large étendue de mesure (de 0 à 4000NTU), le capteur est utilisable dans diverses applications de traitement de l'eau et des eaux usées, par ex. pour la surveillance de la qualité de l'eau, la détection des fuites des filtres et le contrôle final des eaux usées.

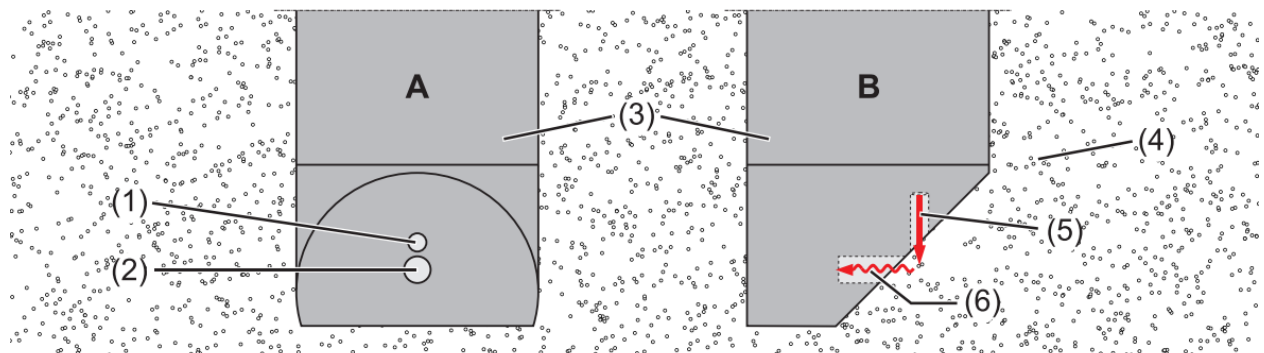
Le capteur JUMO ecoLine NTU enregistre ses données de calibrage et l'historique des données directement dans son circuit électronique, ainsi il est rapidement opérationnel en tous lieux, sans de continuel recalibrages.

Le design du capteur est caractérisé par sa structure élancée et robuste.



Figure I.7 : capteur JUMO ecoLine NTU [9]

Suivant la norme EN 27027, la turbidité est la diminution de la transparence d'un liquide, provoquée par la présence de substances en suspension. Les particules en suspension dans un liquide trouble absorbent et reflètent la lumière émise par le capteur. La mesure de turbidité du capteur JUMO ecoLine NTU est effectuée suivant la méthode de mesure définie dans le norme EN ISO 7027 : mesure de la lumière diffusée à 90°, sur la plage des infrarouges. Pour cela, le capteur émet d'abord de la lumière infrarouge. Les particules présentes dans le milieu de mesure diffusent cette lumière. La partie de la lumière diffusée avec un angle de 90° est détectée par le récepteur du capteur et évaluée comme mesure de la turbidité



- |   |  |
|---|--|
| (1) Fenêtre optique avec émetteur infrarouge              | (4) Milieu de mesure avec particules en suspension |
| (2) Fenêtre optique avec détecteur de lumière diffusée    | (5) Lumière infrarouge émise                       |
| (3) Capteur de turbidité vu de face (A) et vu de côté (B) | (6) Détection de la lumière diffusée               |

Figure I.8 :Principe de mesure du capteur de turbidité JUMO [9]

Ce capteur robuste et simple est particulièrement adapté aux domaines d'utilisation suivants :

- Traitement de l'eau potable
- Protection des eaux
- Pisciculture
- Stations d'épuration industrielles et communales
- Installations d'ingénierie
- Industrie papetière

#### **I.4.2.1 Caractéristiques**

|   |  |
|---|--|
| Principe de mesure                                    | Mesure de turbidité optique, néphélométrique avec diffusion de lumière à 90 ° suivant EN ISO 7027  |
| Grandeurs de mesure                                   | Turbidité,<br>Température  |
| Etendues de mesure                                    | 0 à 4000 NTU sur 4 étendues de mesure au choix ainsi que détection automatique de l'étendue de mesure : <ul style="list-style-type: none"><li>• 0,00 à 50,00 NTU</li><li>• 0,0 à 200,0 NTU</li><li>• 0 à 1000 NTU</li><li>• 0 à 4000 NTU</li></ul> |
| Résolution  | 0,01 à 1 , selon l'étendue de mesure   |
| Précision   | < 5 % de la valeur mesurée NTU   |
| Fréquence d'échantillonnage max. des valeurs mesurées | 1 Hz   |
| Plage de temperature                                  | 0 à +50 °C   |
| Plage de pression                                     | jusqu'à 5 bar  |
| Température de stockage                               | -10 à +60 °C   |

Tableau I.2 : Caractéristiques le capture de JUMO ecoLine NTU

### I.4.2.2 Dimensions

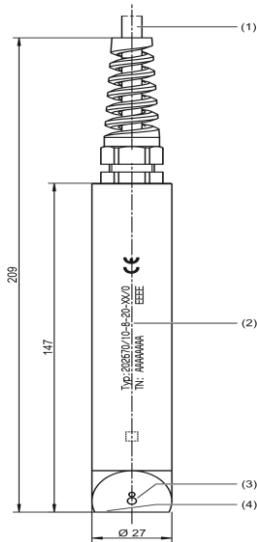


Figure I.9 : Dimensions le capture de JUMO ecoLine NTU

- (1) Câble de raccordement RS485 (câble fixe)
- (2) Gravure au laser avec le type du capteur et la référence article
- (3) Emetteur infrarouge et récepteur infrarouge (4) Sonde de température

### I.4.2.3 Raccordement électrique

#### I.4.2.3.1 Câble fixe avec embouts

Le raccordement des câbles avec embout doit être doté d'un dispositif anti-traction et réalisé sans soudure sur des bornes enfichables à vis sur

| Fonction  | Couleur du conducteur | Figure |
|---|-----------------------|--------|
| GND   | noir                  |        |
| DC5 V+ alimentation issue du régulateur/convertisseur de mesure | rouge                 |        |
| RS485 -   | vert                  |        |
| RS485 +   | blanc                 |        |
|   |                       |        |

Tableau I.3: Câble fixe avec embouts

#### I.4.2.3.1 Câble fixe avec connecteur M12, codage A

Pour le raccordement au bus JUMO digiLine.

| Fonction  | Pin | Figure |
|---|-----|--------|
| +5 V alimentation issue du régulateur/convertisseur de mesure | 1   |        |
| non raccordé  | 2   |        |
| GND   | 3   |        |
| RS485 B (RxD/TxD-)  | 4   |        |
| RS485 A (RxD/TxD+)  | 5   |        |
|   |     |        |

Tableau I.4 : raccordement au bus JUMO digiLine

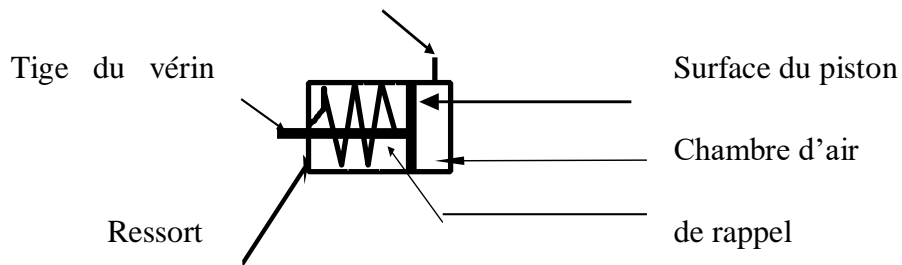
## I.5 Composants électromécanique inclus dans la zone de captage d'eau

### I.5.1 Vérin hydraulique et distributeur (Automatismes -Hamdi Hocine)

Un vérin est l'élément récepteur de l'énergie dans un circuit hydraulique. Il permet de transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique.

**I.5.1.1 Vérin simple effet** (une entrée de commande et ressort de rappel)

Entrée de commande et d'échappement (air comprimé)



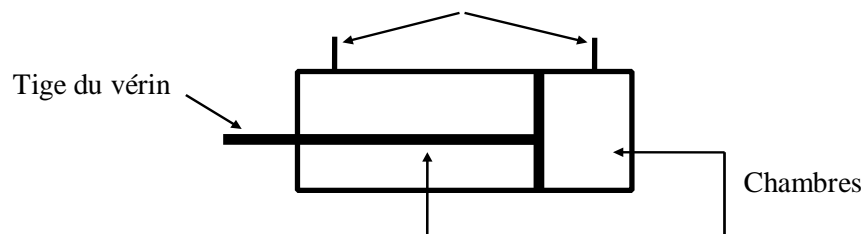
Corps du vérin

**Figure I.10 :** *Vérin simple effet* (pouvant comporter un capteur de fin de course (bilame) magnétique)

**I.5.1.2 Vérin double effet** (2 entrées de commande)

Entrées de commande et d'échappement d'air

(reliées soit à l'arrivée d'air comprimé soit à la pression atmosphérique)



**Figure I.11 :** Vérin double effet

**a-Vérin double effet 2 tiges** (1 ou 2 entrées de commande)



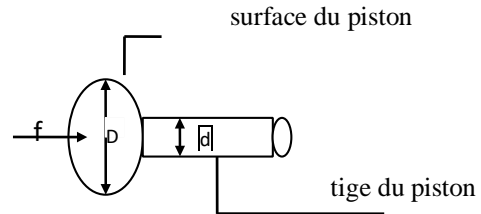
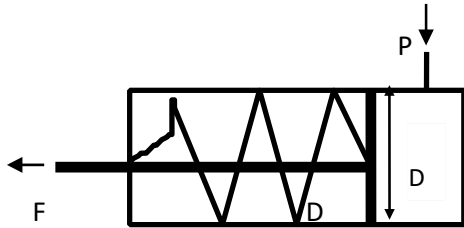
2 entrées de commande

1 entrée de commande et ressorts de rappel

**Figure I.12:** Vérin double effet 2 tiges

## I.5.2 Dimensionnement

### I.5.2.1 Vérin simple effet



F : force théorique exercée par le vérin

$f = P \times S$  (d'après la loi de Boyle-Mariotte),

où S : section =  $D^2 / 4$  , P : pression exercée

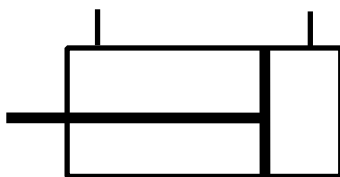
sur la surface

|  |
|--|
| <b><math>F_{th} = P \times S - F_{ressort}</math></b>      |
| <i>Newton      <math>Mpa \cdot mm^2</math>      Newton</i> |

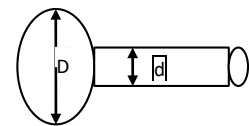
$1 \text{ N/mm}^2 = 1 \text{ Mpa} = 10 \text{ bars}$

$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ Mpa} = 0,1 \text{ N/mm}^2$

### I.5.2.2 Vérin double effet



S : section du piston  
s : section de la tige



\*Force théorique exercée par la tige en sortant :

|  |
|--|
| <b><math>F_{ts} = P \times S = P \times \frac{D^2}{4}</math></b> |
|--|

\*Force théorique exercée par la tige en rentrant :

S-s : surface efficace du piston en contact avec la pression d'air

**$F_{tr} = P \times (S - s) = P \times \frac{D^2 - d^2}{4}$**

S : section du piston s : section de la tige S-s : section active / utile / efficace du piston

### 1.5.3 Distributeur

Les distributeurs pneumatiques sont des éléments de la chaîne d'énergie. Ils distribuent de l'air comprimé aux actionneurs pneumatiques (vérins, générateurs de vide, moteurs à palettes...) à partir d'un signal de commande (pilotage).

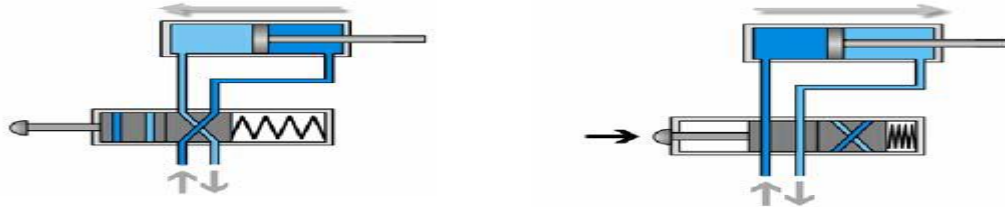


Figure I.13 : Distributeur 4/2 à tiroir plan

Ainsi le vérin hydraulique est commandé par le biais d'un distributeur hydraulique

Son principe de fonctionnement est d'orienter le débit vers l'une ou l'autre partie du circuit, **autoriser** ou **bloquer** le passage du débit.

En fait, ces appareils hydrauliques sont conçus pour diriger le fluide aux endroits désirés. En même temps, ils servent de conduite de retour du fluide hydraulique au réservoir. Un distributeur permet aussi de commander le démarrage ou l'arrêt d'un actionneur hydraulique. Sens de déplacement du vérin dans chaque position.

Dans la figure (1.9.a), on donne le symbole du distributeur 4/3 à centre ouvert à commande hydraulique rappel par ressort. Aussi la figure (1.9.b), on symbolise le distributeur 4/2 à commande hydraulique et manuelle.

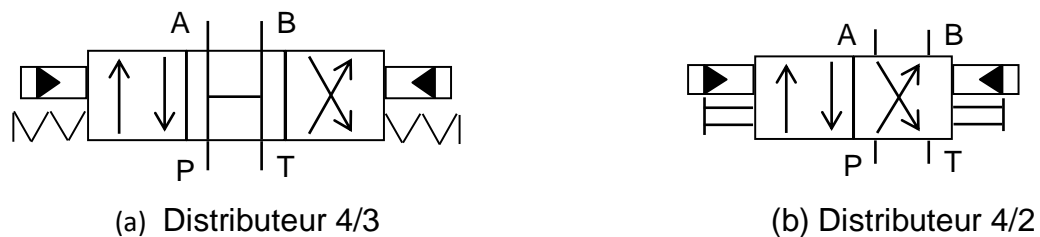


Figure 1.14 : Symboles des distributeurs 4/3 et 4/2

## I.6 Les pompes

Les pompes sont des machines servant à élever les liquides ou les mélanges de liquides d'un niveau inférieur à un niveau supérieur, ou refouler les liquides d'une région à faible pression vers une région à haute pression.

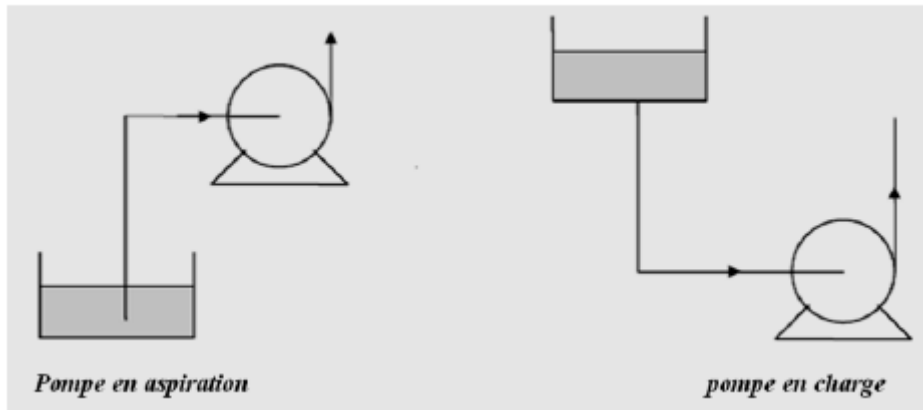


Figure I.15 :Montage d'une pompe en aspiration et en charge.

Le fonctionnement d'une pompe consiste à produire une différence de pression entre la région d'aspiration et la région de refoulement au moyen de l'organe actif (piston, roue,...etc.) de la pompe. Du point de vue physique, la pompe transforme l'énergie mécanique de son moteur d'entraînement en énergie hydraulique.

### I.6.1 Différents types des pompes :

Pour répondre à toutes les applications industrielles, plusieurs types de pompes ont été mis au point.

On regroupe toutes ces pompes sous deux grandes familles :

- les pompes hydrauliques volumétriques.
- Les pompes hydrauliques non volumétriques (roto-dynamique).

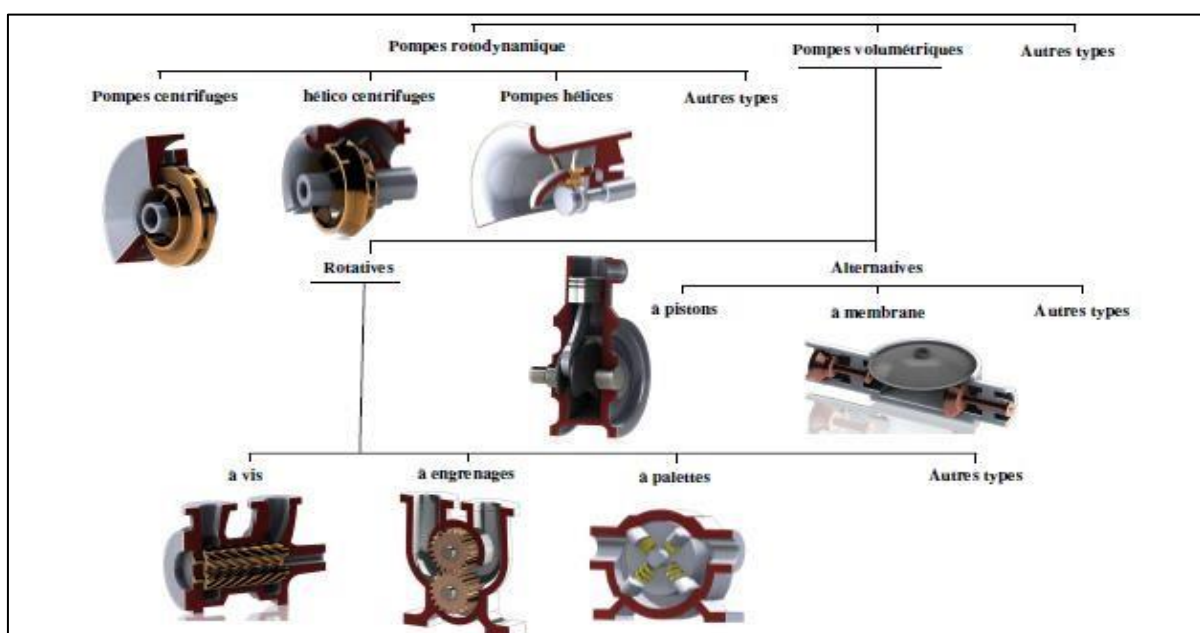


Figure I.16: classification des pompes.

### I.6.1.1 Pompe volumétrique :

On distingue deux grands types de pompes volumétriques :

- Les pompes volumétriques **alternatives**.
- Les pompes volumétriques **rotatives**. [1]

#### I.6.1.1.1 Les pompes volumétriques alternatives :

Ces pompes sont caractérisées par le fait que la pièce mobile est animée d'un mouvement alternatif. Les principaux types de pompes sont les suivants :

- à piston.
- à membrane ou à soufflets. [2]

Les pompes volumétriques alternatives usuelles font appel à deux principes :

- le déplacement d'un piston animé d'un mouvement alternatif.
- la déformation d'une membrane. [1]

##### I.6.1.1.1.1 Pompe à piston :

Les pompes à piston constituent l'un des plus anciens types de pompes et demeurent parmi les plus répandues. [4]

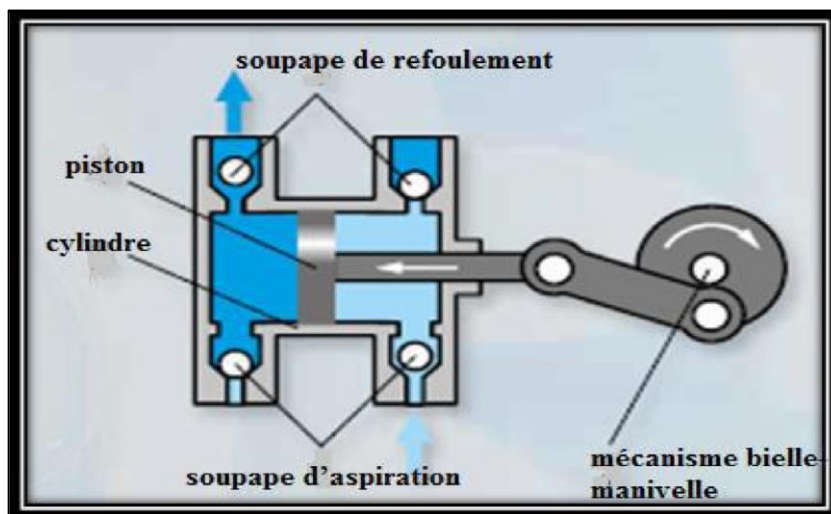


Figure I.17: Principe pompe à piston.

##### I.6.1.1.1.2 Pompes à membranes ou à soufflets:

Le déplacement du piston est remplacé par les déformations alternatives d'une membrane en matériau élastique (caoutchouc, élastomère, Néoprène, Virton, etc.). Ces déformations produisent les phases d'aspiration et de refoulement que l'on retrouve dans toute pompe alternative.

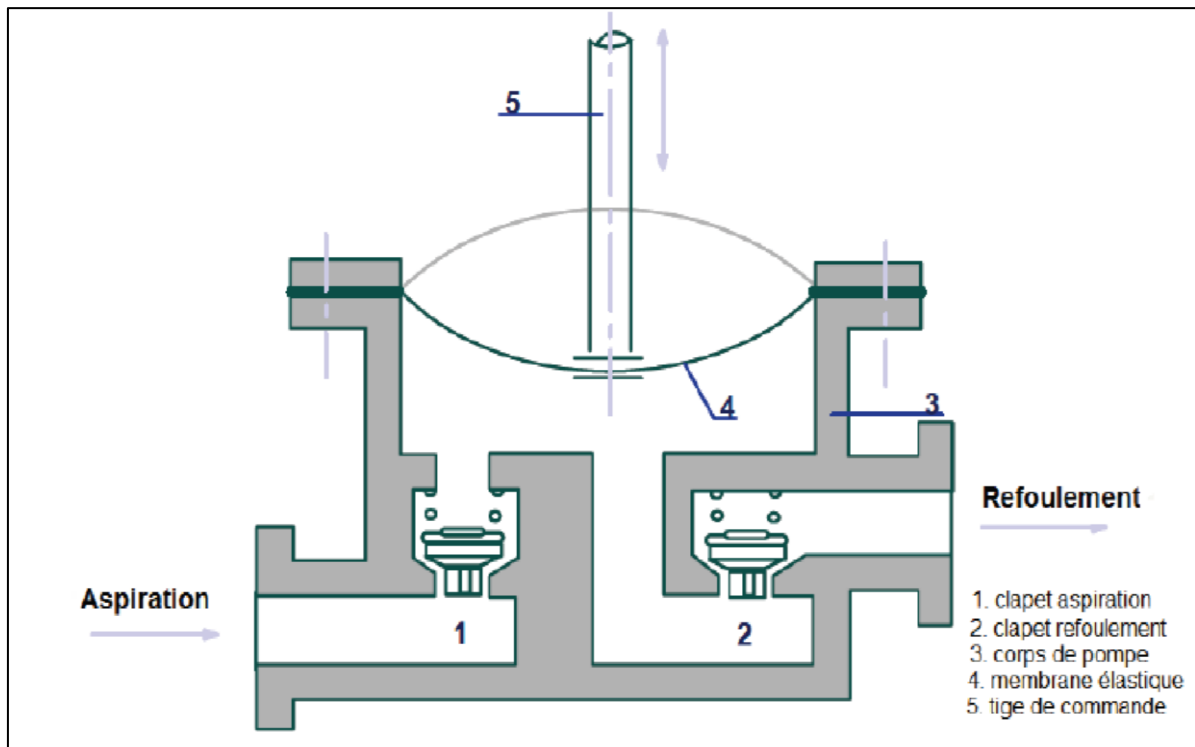


Figure I.18 :Pompe à membranes.

-Les avantages et les inconvénients

| Les avantages   | Les inconvénients  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fonctionnement à sec sans dommage.</li> <li>• Propreté absolue du liquide pompé (chargé, abrasif, acide, visqueux ou non).</li> <li>• Bon rendement (90 %).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Débit limité.</li> <li>• Viscosités assez faibles.</li> <li>• Pompage de particules solides impossible.</li> <li>• Bon fonctionnement que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston.</li> <li>• Pulsations importantes au refoulement.</li> <li>• (système amortisseur indispensable).</li> </ul> |

Tableau I.5 : Les avantages et les inconvénients des pompes à membranes. [3]

### I.6.1.1.2 Pompes rotatives :

Ces pompes sont constituées par une pièce mobile animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe, qui tourne dans le corps de pompe et crée le mouvement du liquide pompé par déplacement d'un volume depuis l'aspiration jusqu'au refoulement. [3]

Les principaux types des pompes rotatives sont :

- pompes à engrenage.

- pompes à vis.
- pompes à lobes.
- pompes à palettes ...etc.

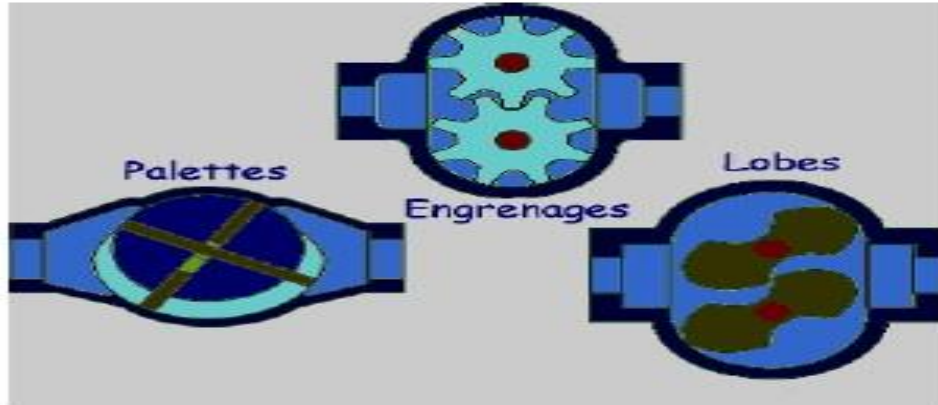


Figure I.19 : fonctionnement pompes volumétriques alternatives

#### I.6.1.1.2 Pompes à palettes :

##### I.6.1.1.2.1 Pompes à palettes libres :

Un corps cylindrique fixe communique avec les orifices d'aspiration et de refoulement.

A l'intérieur se trouve un cylindre plein, le rotor, tangent intérieurement au corps de la pompe et dont l'axe est excentré par rapport à celui du corps. Le rotor est muni de 2 à 8 fentes diamétralement opposées deux à deux, dans lesquelles glissent des palettes que des ressorts appuient sur la paroi capacités comprises entre les cylindres et les palettes en créant ainsi une aspiration du liquide d'un côté et un refoulement de l'autre (Figure 5).

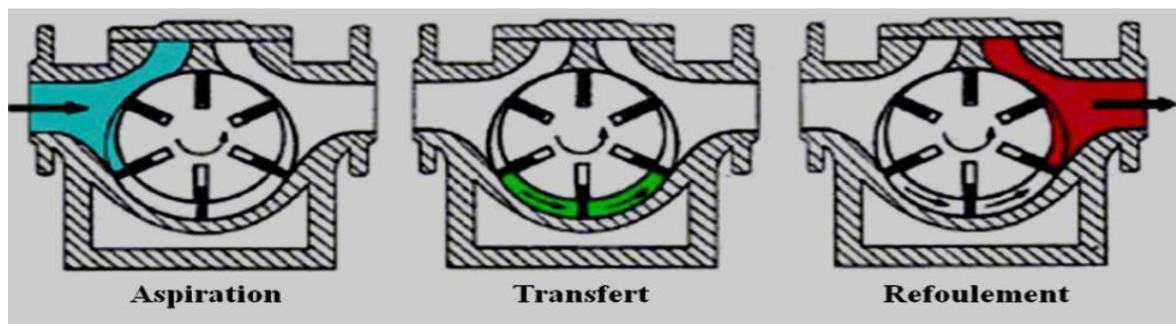


Figure I.20: Pompes à palettes libres. [5]

#### I.6.1.1.2.2 Pompes à palettes flexibles :

L'ensemble rotor-palettes est en élastomère. Il entraîne le liquide jusqu'au refoulement où les palettes sont fléchies par la plaque de compression et permettent l'expulsion du liquide (Figure 13).

Comme toutes les pompes à palettes, ces pompes n'entraînent ni brassage, ni laminage, ni émulsion du produit. Elles peuvent également pomper des particules solides. Les caractéristiques, débit, vitesse, pression sont sensiblement identiques aux précédentes. [2]

Dans la figure suivante, nous avons les différentes étapes de transfert du liquide à l'intérieur des pompes à palettes flexibles :



Figure I.21: Pompes à palettes flexibles. [5]

#### I.6.1.2 Pompes roto-dynamique :

##### I.6.1.2.1 Description :

Qui transmettent au fluide une charge dépendant du débit de fluide qui les traverse. Une roue fournit au fluide de l'énergie cinétique qui est ensuite transformée en pression au fluide de l'énergie cinétique qui est ensuite transformée en pression dans une volute. [4]

##### I.6.1.2.2 Classification des pompes roto-dynamiques :

Dans la famille roto dynamiques, on classe les pompes :

Selon la trajectoire du fluide (trajectoire de l'écoulement) :

- Les pompes centrifuges (à écoulement radial).
- Les pompes hélico-centrifuges (à écoulement diagonal).
- Les pompes axiales ou à hélices (à écoulement axiales).



Figure I.22: Représentation des domaines respectifs des trois types de pompes roto-dynamiques. [5]

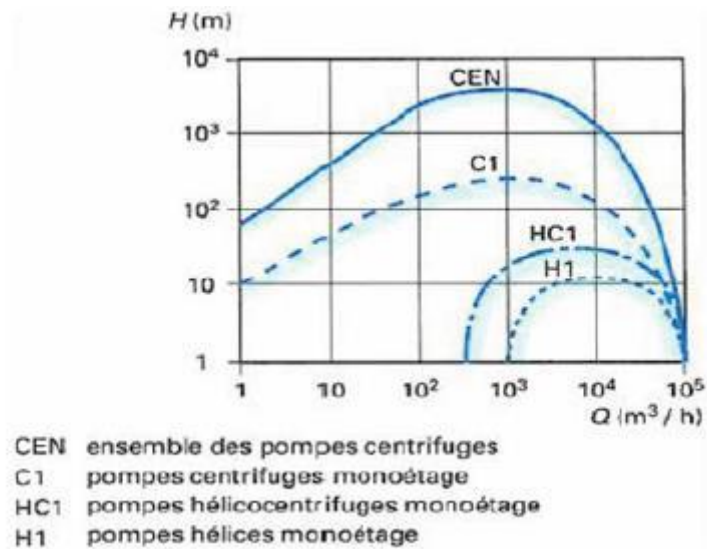


Figure I.23 : Domaines d'utilisation des pompes industrielles roto-dynamiques. [5]

Selon le nombre d'étages :

- Monocellulaire : avec une seule roue (impulseur) sur l'arbre.
- Multicellulaire : avec plusieurs (impulseur) sur l'arbre disposé en série.

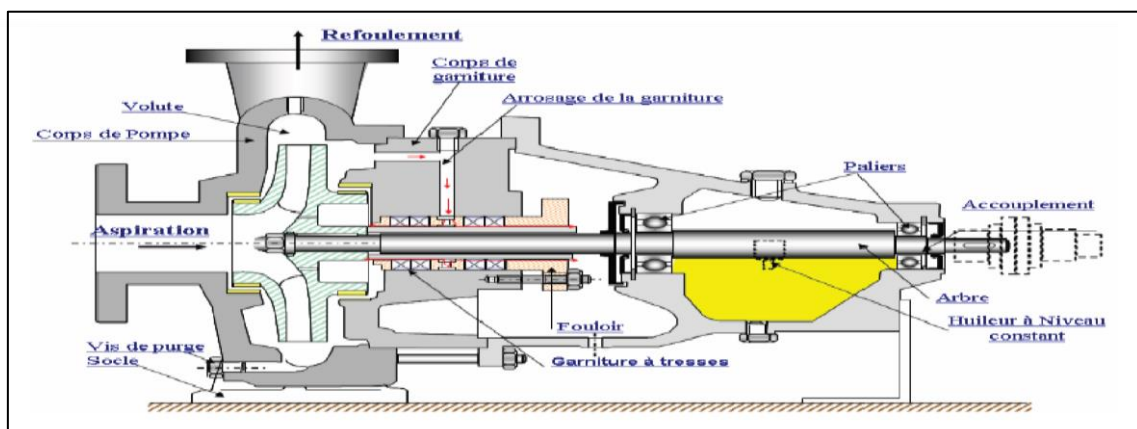


Figure I.24 : Pompe centrifuge monocellulaire en porte à faux. [5]

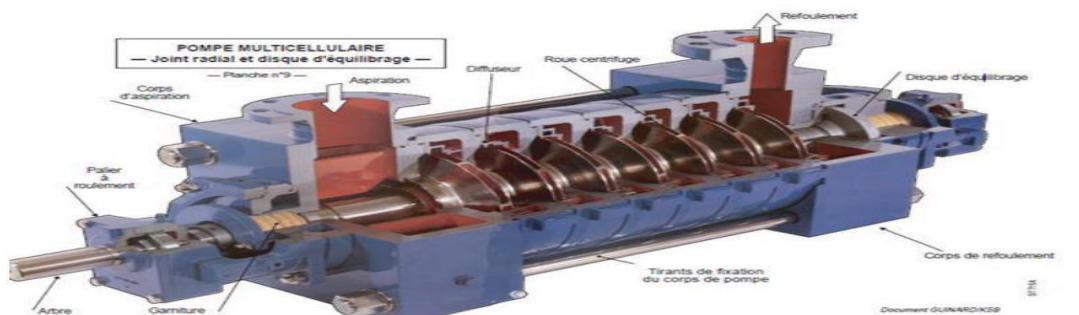


Figure I.25 : Pompe multicellulaire. [5]

Selon la disposition de l'axe de la pompe :

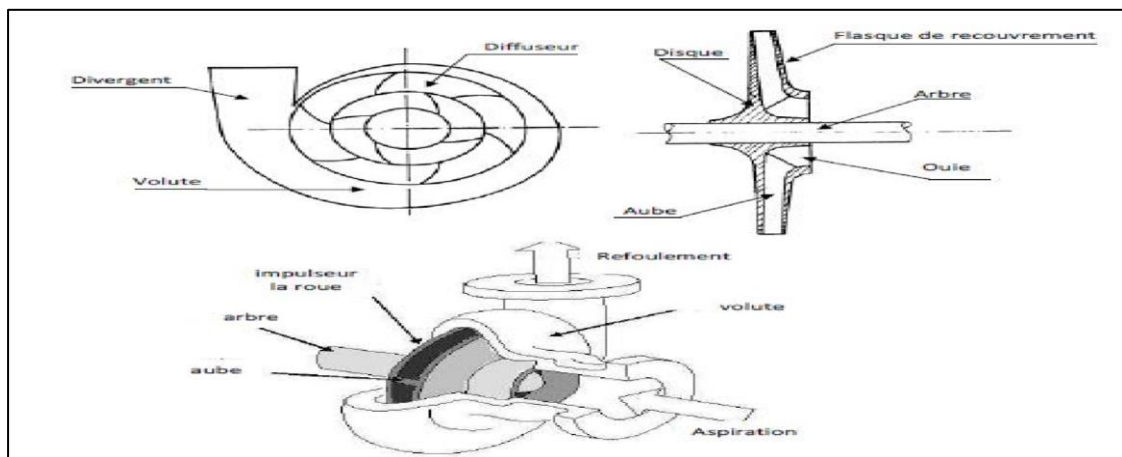
- Pompe vertical.
- Pompe horizontal.

Selon la trajectoire du fluide :

- A écoulement radial: (pompes centrifuges).
- A écoulement diagonal (pompes hélico centrifuges).
- A écoulement axial (pompes axiales ou pompes à hélices).

#### **I.6.1.2.2.1 Les pompes centrifuges :**

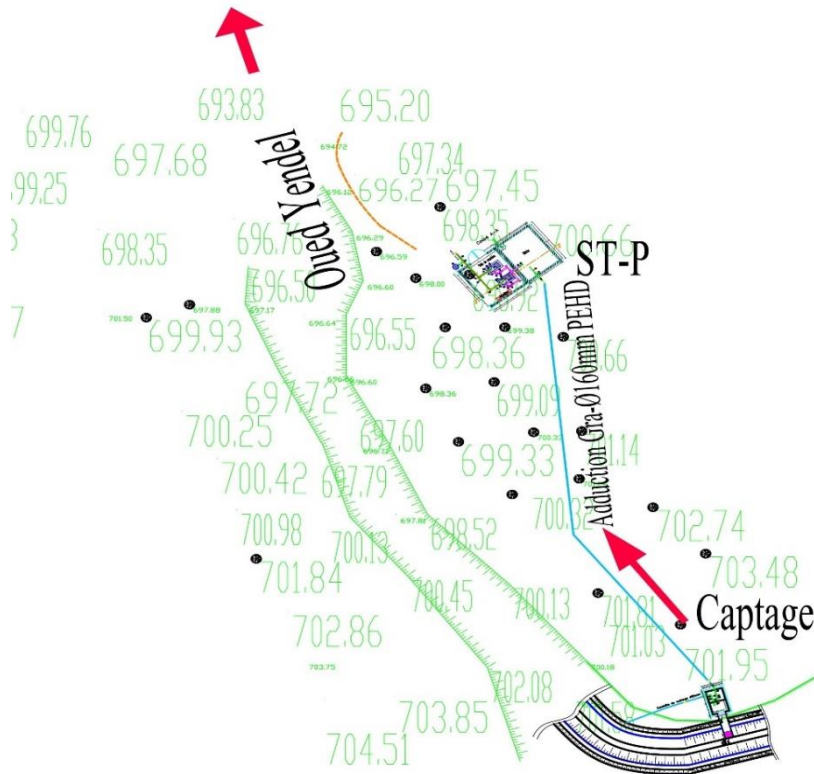
Une pompe centrifuge est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant ou travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur (souvent nommée improprement turbine).



**Figure I.26:** Schéma d'une pompe

## **I.7 Description de la zone d'étude et aménagement du système de captage d'eau sur rivière**

L'ensemble des équipements automatiques est installé à l'intérieur d'une armoire implanté sur site, dans lequel sont réalisées les opérations de maintenance, d'étalonnage et de vérification. Le capteur de turbidité est placé en amont du système de captage à coter de la rivière qui collecte les informations de l'eau trouble via un circuit électrique vers l'armoire de commande. Le capteur est immergé en permanence (50 cm d'eau). Les vitesses d'écoulement d'eau de rivière oscillent selon le temps pluvial. L'installation doit être complétée par des mesurages de hauteur d'eau et de vitesse d'écoulement dans l'aménagement hydraulique en amont.



## CAPTAGE YENDAL

Figure I.27 : schéma global de système de captage réalisé par Autocad

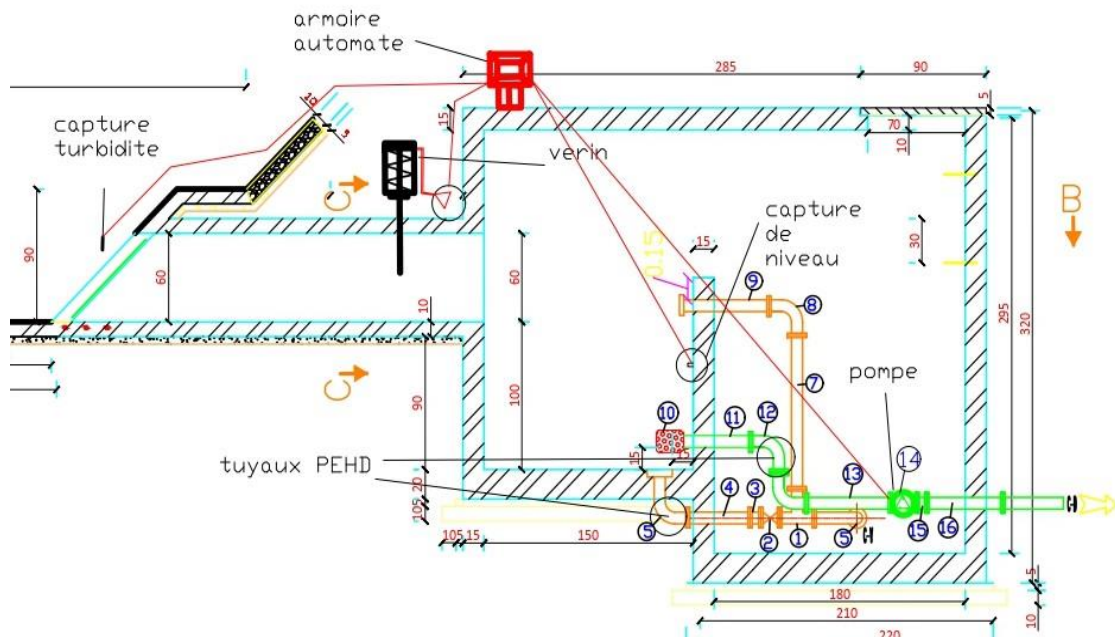


figure I.28: L'implantation des capteurs, du vérin et de la pompe dans le système de captage (cas vanne ouverte)

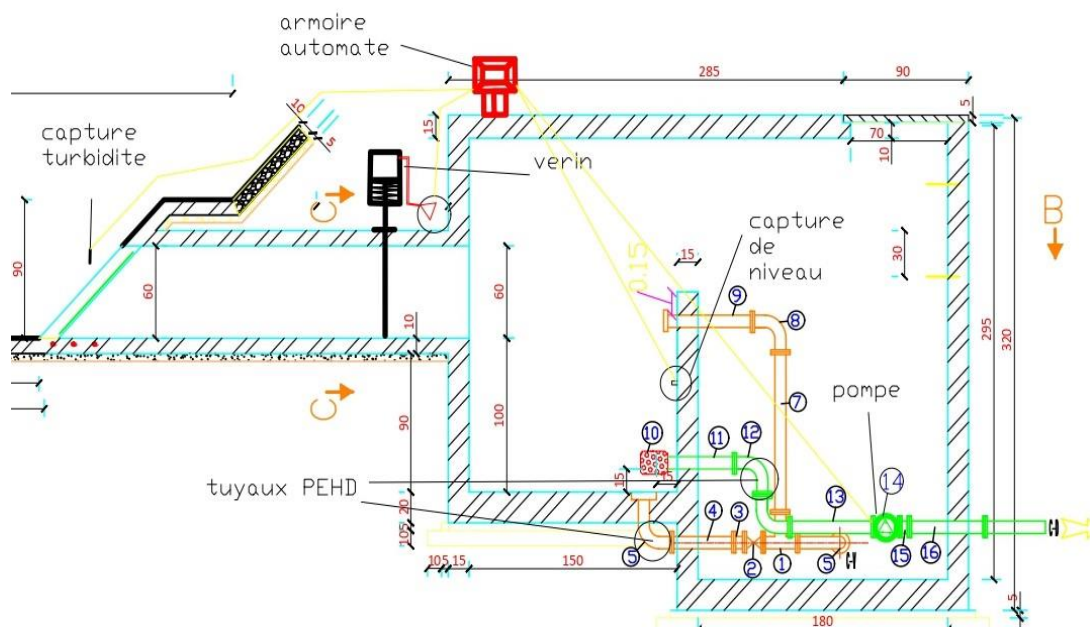


figure I.29: L'implantation des capteurs, du vérin et de la pompe dans le système de captage (cas vanne fermée)

| NOMENCLATURE DES ÉQUIPEMENTS |                      |        |             |             |               |         |
|------------------------------|----------------------|--------|-------------|-------------|---------------|---------|
| c                            | DESIGNATION          | Nombre | Diametre mm | Longueur mm | Pression bars | Matiere |
| 1                            | Te à 3 brides        | 01     | 200/150     |             | 25            | Fonte   |
| 2                            | Vanne                | 01     | 200         |             | 25            | fonte   |
| 3                            | Joints de démontage  | 01     | 200         |             | 16            | /       |
| 4                            | Manchette à 2 Brides | 06     | 200         | 600         | 25            | Acier   |
| 5                            | Coude 90°            | 02     | 200         |             | 16            | Acier   |
| 6                            | Manchette à 2 Brides | 01     | 200         | 700         | 25            | Acier   |
| 7                            | Manchette à 2 Brides | 01     | 150         | 1000        | 25            | Acier   |
| 8                            | Coude 90° 2 brides   | 01     | 150         |             | 25            | Acier   |
| 9                            | Manchette à 2 Brides | 01     | 150         | 800         | 25            | Acier   |
| 10                           | Crépine              | 01     | 150         |             | 25            | fonte   |
| 11                           | Manchette à 2 Brides | 01     | 150         | 800         |               | Acier   |
| 12                           | Coude 90° 2 brides   | 01     | 150         |             | 25            | Acier   |
| 13                           | Manchette à 2 Brides | 01     | 150         | 600         |               | Acier   |
| 14                           | <b>pompe</b>         | 01     |             |             | 25            | fonte   |
| 15                           | joints de démontage  | 01     | 150         |             | 25            |         |
| 16                           | Manchette à 2 Brides | 01     | 150         | 600         |               | Acier   |
| 17                           | GRille fin           | 01     | 150         | 600         |               | Acier   |
| 18                           | Vanne mural          | 01     | 75 x 65     |             |               | Acier   |

## I.7.1 Composants hydraulique du système

l'aménagement est composé de :

### A-Dégrilleur mécanique

#### - Dimensionnement du dégrilleur

Le dégrilleur (Figure I.3) permet de protéger

l'ouvrage contre l'arrivée intempestive

de gros objets flottants et

de particules volumineuses qui pourraient nuire à

l'efficacité du traitement et créer des

colmatages. Il retient les particules dont les

dimensions sont supérieures à 50 mm.



figure I.30 : Dégrilleur mécanique

#### -Construction

Les dégrilleurs sont à bords retournés en inox ou en aluminium. Ce mode de construction permet d'éviter les corrosions et les risques de déformation.

#### -Conception

Le dimensionnement du dégrilleur dépend de la nature de l'effluent, de la section de passage et du débit. Le système de dégrillage peut se présenter sous forme de panier dégrilleur relevable (barres de guidage en inox et chaîne de relevage) ou d'une simple grille.

#### -Grille

La surface de la grille est définie par :

$$S = \frac{Q_p(m^3/s)}{(V \times O \times C)} \dots \dots \dots (1.1)$$

Avec

S : surface de la grille (m<sup>2</sup>).

v : vitesse de passage de l'effluent, v = 0.6 m/s

C : coefficient de colmatage (0.10-0.30) → grille manuelle

(0.40-0.50) → grille

automatique

O : coefficient de passage

$$O = \frac{\text{espace libre entre barreaux}}{\text{espace libre} + \text{épaisseur barreaux}} \dots \dots \dots (1.2)$$

La vitesse de l'effluent est choisie de façon à minimiser les pertes de charges.

| <b>Q<sub>ps</sub></b><br><b>(m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>V</b><br><b>(m/s)</b> | <b>O</b> | <b>C</b> | <b>S (m<sup>2</sup>)</b> |
|---|--------------------------|----------|----------|--------------------------|
| 0,053   | 0,6                      | 0,45     | 0,40     | 0,49                     |

**Tableau1.6** :Calcul des dimensions de la grille

**Largeur** : 600 mm

**Hauteur maxi** : 10 m

**Surface de la grille** : 0.49 m<sup>2</sup>

**Matériaux ; inox 304 L ou inox 316 L**

**B- Dimensionnement de la bache :**

Le dimensionnement de la largeur et longueur de la bache, sont déterminées par l'équation suivant :

$$Bb = lp + 4e$$

$$Lb = 3Lp + 4e$$

Avec :

Bb : largeur de la base de bache en (m)

Lb : longueur de la base de bache en (m)

$L_p$  : longueur de base de pompe (m)

$l_p$  : largeur de base de pompe (m)

$e$  : encombrement de la pompe en (m)  $e = (0,6 \sim 1,0)$ .

### **C-Conduite de distribution :**

L'orifice de départ de la conduite de distribution est placée entre 0,15 à 0,20 m au-dessus de radier et à l'opposé de la conduite d'arrivée afin, d'éviter l'introduction de boue ou de sable qui éventuellement pourraient se décanter dans la cuve et faciliter le brassage de l'eau. L'extrémité est munie d'une crépine courbée pour empêcher la pénétration de matières en suspension dans l'eau.

Pour éviter la pénétration d'air dans la conduite (phénomène de Vortex) en cas d'abaissement maximal du plan d'eau on réservera un minimum de 0,5 m au-dessus de la génératrice supérieur de la conduite.

Cette conduite est équipée d'une vanne à survitesse ou robinet vanne automatique, permettant la fermeture rapide en cas de rupture au niveau de cette conduite.

### **D-Conduite de vidange :**

C'est la conduite la plus basse dans le réservoir ayant comme fonction la vidange du réservoir en cas de nécessité (nettoyage, réparation).

### **E-Crépine :**

La crépine est constituée par un cylindre perforé qui refuse l'accès des corps solide dans la pompe. Il est noter qu'une crépine doit toujours être immergée pour éviter l'entrée d'air.



**Figure 1.31** Crépine

### **E-Le PEHD :**

est le matériau le plus utilisé ; avec 84%. Le linéaire est composé essentiellement de diamètre 160mm ; Il s'est imposé depuis le début le début des années 2000 et constitue le matériau de faveur moderne pour la construction des réseaux et des branchements.

Le polyéthylène haut densité est un matériau synthétique, qui allie :

- Alimentaire,
- Inertie chimique et électrique,
- Résistance naturelle à la corrosion,
- Excellent coefficient de glissement,
- Souplesse,
- Légèreté.



**Figure 1.32:** type de conduite PEHD

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé le problème qui nous a motivé à mettre en œuvre le système de captage à l'aide du logiciel Autocad.

Les paramètres surveillés (turbidité, niveau d'eau) permettent d'alléger le traitement de l'eau dans la station de traitement, tous ces paramètres doivent faire l'objet d'un contrôle permanent pour s'assurer qu'ils sont dans les limites acceptables.

---

# *Chapitre II*

**Matériels électriques et  
automatiques inclut au  
système de contrôle de  
turbidité**

---

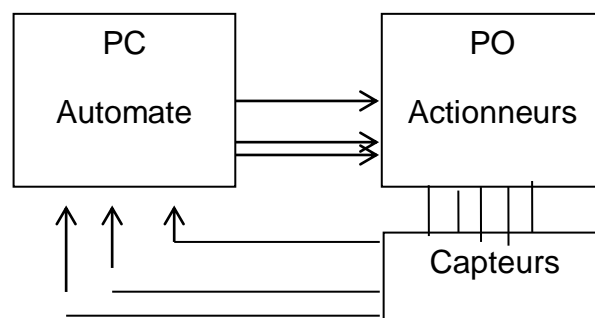
## **II.1 Introduction :**

L'automatisation des système hydraulique doit être maîtrisée par connaissances des notions de bases des systèmes automatisés d'une part, et par le savoir-faire des technologies câblés et programmés. En effet ce chapitre évoquera en premier lieu les notions générales sur les systèmes automatisés. Puis nous passerons à la description détaillée de l'architecture des automates programmables industriels (API) et particulièrement le Zélio logic de la firme Schneider ; et les différents langages de programmation. En se basant sur le langage GRAFCET permettant de représenter graphiquement et de façon structurée le fonctionnement d'un automatisme séquentiel ; cela va nous aider à programmer l'automate par le biais du logiciel Zélio-soft 2 en mode de programmation FBD et SFC, afin d'implanter ce système dans le champ de captage hydraulique.

## **II.2 Structure de base des systèmes automatisés**

Un système automatisé est toujours composé d'une partie commande (PC), et d'une partie opérative(PO) (figure1.1). Elle comporte en générale un boîtier contenant :

- Des actionneurs (transformant l'énergie reçu en énergie utile : moteur, vérin, lampe).
- Des capteurs (transforment la variation des grandeurs physiques liée au fonctionnement de l'automatisme en signaux électriques : capteur de turbidité, capteur de position, capteur de température, bouton poussoir, ...etc).



**Figure II.1 :** Structure fonctionnel d'un système automatisé.

La partie opérative est constituée du procédé physique à commander, la partie commande l'automatisme proprement dit, qui élabore en sortie des ordres destinés au procédé en fonction des comptes-rendus venant du procédé et des consignes qu'il reçoit en entrée.

Pour faire fonctionner ce système, l'opérateur va donner des consignes à la partie(PC) par l'introduction d'un programme, celle-ci va traduire ces consignes en ordres qui vont être exécuté par la(PO). Ce secteur de l'automatisme gère selon une suite logique le déroulement ordonné des opérations à réaliser. Il reçoit des informations en provenance des capteurs de la partie opérative, et les restitue vers cette même partie en direction des pré-actionneurs et actionneurs. Une fois les ordres accomplis, la PO va le signaler à la PC (compte -rendu) qui va à son tour le signaler à l'opérateur, ce dernier pourra donc dire que le travail a bien été réalisé [1].

### **II.2.1 Capteur [3]**

Un capteur est un transducteur capable de transformer une grandeur physique en une autre grandeur physique généralement électrique (tension) utilisable par l'homme ou par le biais d'un instrument approprié.

#### **II.2.1.1 Capteur de niveau**

La mesure de niveau est une mesure continue ou discontinue, ce fait en utilisant des capteurs de différents types :

##### **II.2.1.1.1 Capteur à mesure par pression**

Un capteur de pression mesure la pression relative au fond du réservoir. Cette pression est l'image du niveau  $L$  du liquide (figure 1.5). C'est-à-dire le capteur délivre un signal proportionnel au niveau de liquide dans le réservoir.

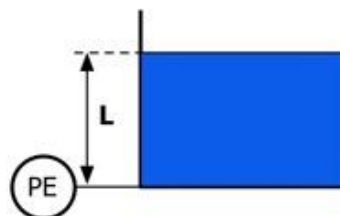


Figure II.2: Principe de mesure de niveau par capteur de pression.

#### **II.2.1.1.2 Capteur à mesure par onde**

C'est un capteur de type acoustique ou de type Radar (figure 1.6). Il émet un signal acoustique ou électromagnétique selon le type à utiliser, et reçoit le même signal pour mesurer la distance parcourue entre la position du capteur et la surface du liquide et alors continuellement délivre un signal proportionnel au niveau de liquide dans le réservoir.



Figure II.3: Capteur de niveau acoustique.

#### **II.2.1.1.3 Capteur à mesure par contact**

La mesure de niveau dans ce type de capteur est une mesure discontinue. Le capteur est implanté à certain niveau dans le réservoir et délivre un signal électrique lorsque le liquide touche le capteur sinon pas de signal électrique lorsque le liquide est inférieur au capteur (Tout ou Rien, TOR en abrégé).



Figure II.4: Photo du capteur flotteur.

#### **II.2.1.1.4 Capteur de Turbidité**

### **II.2.2 Choix d'un capteur**

Tous les capteurs dont les fonctionnements ont été décrits précédemment présentent deux parties distinctes. Une première partie qui a pour rôle de détecter un événement et une deuxième partie qui a pour rôle de traduire événement en un signal compréhensible d'une

manière ou d'une autre par une partie PC. Pour choisir correctement un capteur, il faudra définir tout d'abord :

- Le type événement à détecter.
- La nature d'événement.
- La grandeur de l'événement.
- L'environnement de l'événement.

En fonction de ces paramètres on pourra effectuer un ou plusieurs choix pour un type de détection. D'autres éléments peuvent permettre de cibler précisément le capteur à utiliser :

- Ses performances.
- Son encombrement.
- Sa fiabilité.
- La nature du signal délivré par le capteur (électrique, mécanique, pneumatique).
- Son prix...

### **II.2.3 Actionneurs**

Dans un circuit hydraulique, les actionneurs constituent l'outil indispensable pour convertir une forme d'énergie à d'autre forme quelconque (Ex : énergie hydraulique en énergie mécanique ou l'inverse). Ce sont les éléments impliqués dans la partie opérative et qui exécutent les ordres, en agissant sur le processus physique.

Ce sont les machines et les outils à commander et superviser implantés dans un système à automatisé, ils exécutent les ordres émis par la partie commande, notant:

- **Vannes** (Ouverture / Fermeture): exécuté par régulation selon la mesure du débit.
- **Pompes** (Marche / Arrêt): exécuté par variateur de vitesse selon la mesure de la pression et le débit.
- **Vérin** (Sortie /Entrée): commandé par distributeur hydraulique, ouverture et fermeture des portes.
- **Moteur** (marche/arrêt): commandé par régulation de vitesse.

### **II.2.4 Automate (PC)**

La partie commande (PC) est la partie qui gère le fonctionne

La mesure de niveau est une mesure continue ou discontinue, ce fait en utilisant des capteurs de différents types :

ment du système automatisé, elle est composée d'un automate qui contient dans ses mémoires un programme. Elle transmet les ordres aux actionneurs de la partie opérative à partir :

- Du programme qu'elle contient.
- Des informations reçues par les capteurs.
- Des consignes données par l'utilisateur ou par l'opérateur.

Enfin, sa programmation à partir de langages spécialement développés pour le traitement de fonctions d'automatisme facilite son exploitation et sa mise en œuvre.

#### **II.2.4.1 Critères de choix d'un automate**

Le choix d'un automate programmable est généralement basé sur :

- **Nombre d'entrées / sorties** : le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées / sorties nécessaires devient élevé.
- **Type de processeur** : la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- **Fonctions ou modules spéciaux** : certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettront de soulager le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées.
- **Fonctions de communication** : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision ...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus ...)
- **La possession d'un logiciel de programmation** (tel que le Zélio soft2) est aussi source d'économies (achat du logiciel et formation du personnel). Des outils permettant une simulation des programmes sont également souhaitables.

Un automate utilisant des langages de programmation de type GRAFCET est également préférable pour assurer les mises au point et dépannages dans les meilleures conditions.

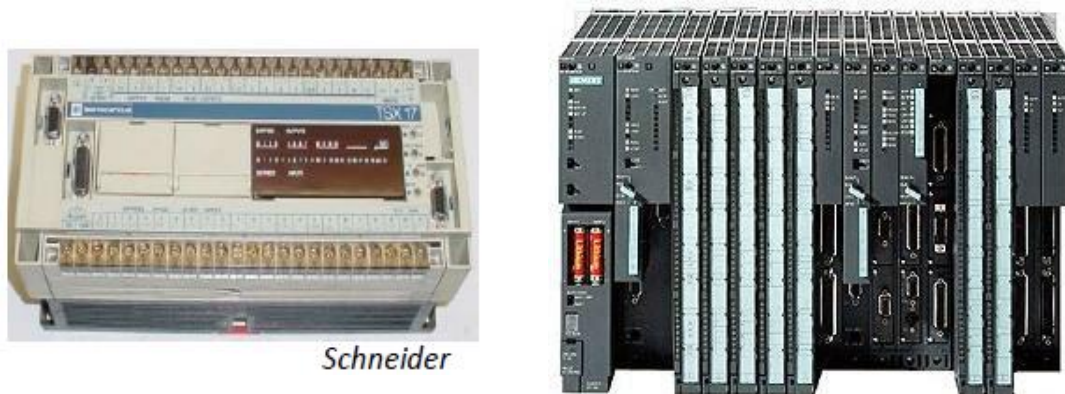


Figure II.5: Photo de deux automates [2]

#### II.2.4.2 Architecture matérielle et logicielle de l'automate

Les équipements notés « commande » sont souvent des automates systèmes de traitement de l'information (API).

Nous considérerons comme automate programmable un système [1]:

- ❖ construit autour d'un processeur numérique, spécifique ou non ;
- ❖ pouvant être relié à de nombreux signaux physiques ;
- ❖ fonctionnant grâce à une protection adaptée dans des conditions industrielles ;
- ❖ doté d'un logiciel de programmation permettant un traitement simple des variables booléennes (TOR) ;
- ❖ doté de possibilités d'échanges avec d'autres processeurs.

L'automate doit remplir les fonctions suivantes [1]:

- Un rôle de **commande** où 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) ou des capteurs (analogiques ou numériques),
- Un rôle de **communication** :

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

### **II.2.4.2.1 Automate programmable**

L'automate programmable industriel ou API ou encore PLC (programmable logic controller) en anglais est un appareil électronique programmable, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et d'actionneurs (relais, moteurs, lampes, vannes etc...) à partir d'informations logique, analogique ou numérique. [1]

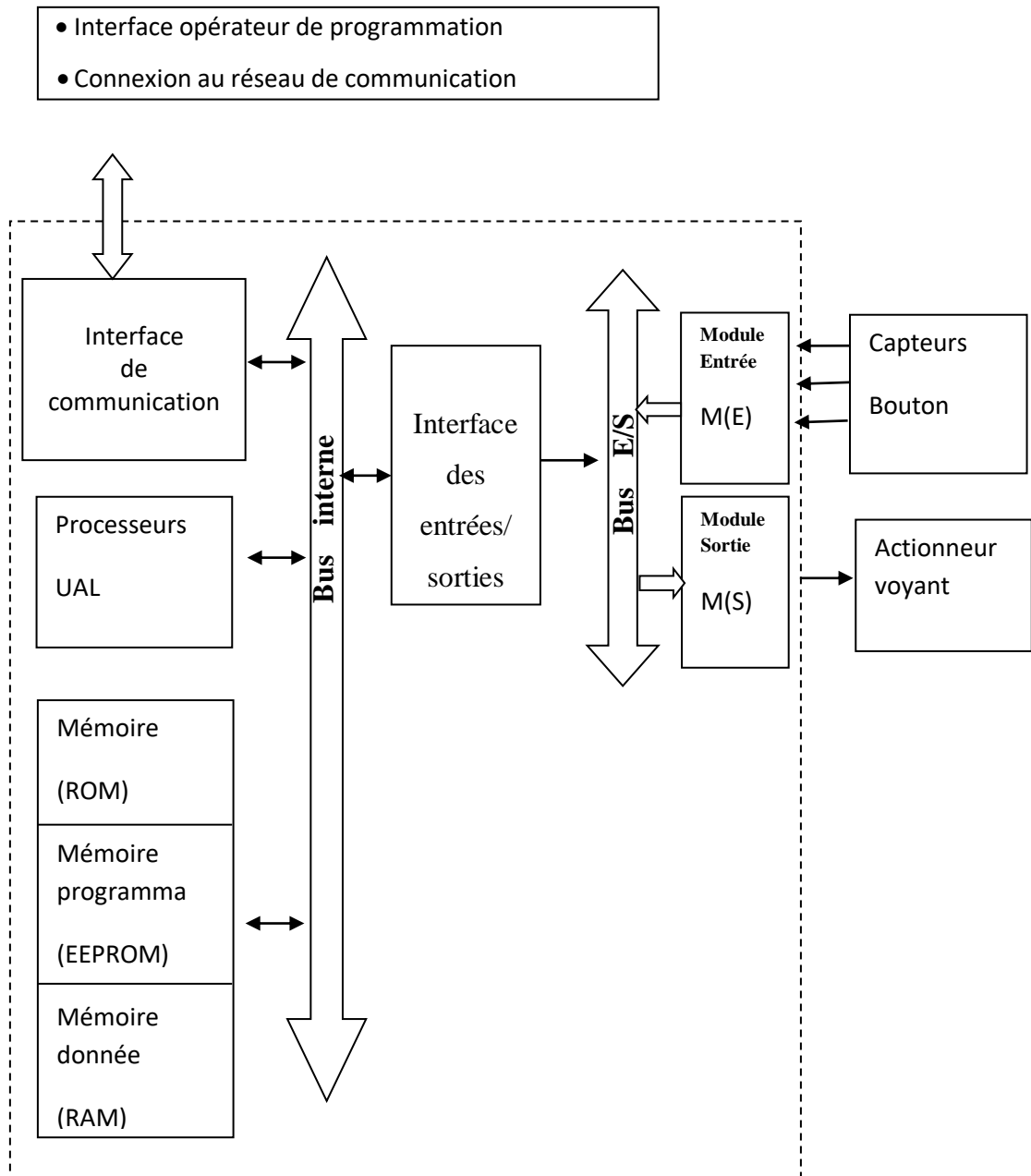
Un **automate programmable** est adaptable à un maximum d'application, d'un point de vue traitement, composants, langage. C'est pour cela qu'il est de construction modulaire.



Figure II.6: Aspect extérieur d'un automate Zélio logic [14]

## **II.3 Matériels internes de l'automate [13]**

La structure matérielle interne d'un automate programmable est donnée par la figure (II.7) suivante :



**Figure II.7:** Structure interne de l'automate

### II.3.1 Processeur

Cœur de l'appareil, dans l'unité centrale UC est une carte électronique bâtie autour de la (ou des) « puce(s) » processeur(s), qui assure au moins les fonctions suivantes :

- Opérations logiques sur bits (le bit, contraction de « binary digit », étant

l'information élémentaire à deux états) ou sur mots (ensemble de bits, le plus souvent 16 bits pour les API) ;

- Temporisation et comptage.
- Opération arithmétique.
- Opération logique.

### **II.3.2 Interface d'entrée**

#### **Module d'entrée analogique**

- Mesure une tension ou un courant électrique et le convertir en une valeur numérique (ADC).
- Adapté à des capteurs de température, de pression ou autres variables continues.

#### **Module d'entrée logique**

- Mesure un signal binaire (deux états).
- Adapté à des interrupteurs de fin de course, des capteurs de proximité, des détecteurs photoélectriques, capteur de niveau à contact ou d'autres interrupteurs (manuels ou non).
- Généralement, pour chaque entrée logique, l'automate possède une DEL qui indique l'état de l'entrée correspondante.

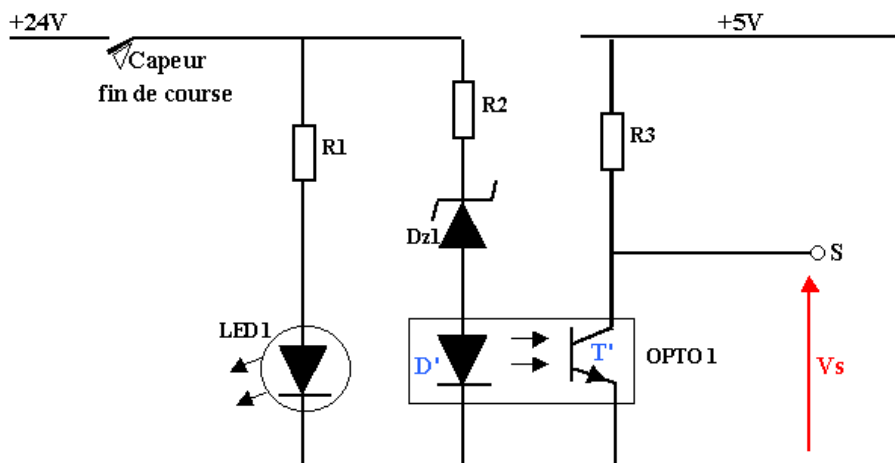


Figure II.8: Schéma électronique d'un port d'entrée

### **II.3.3 Interface de sortie**

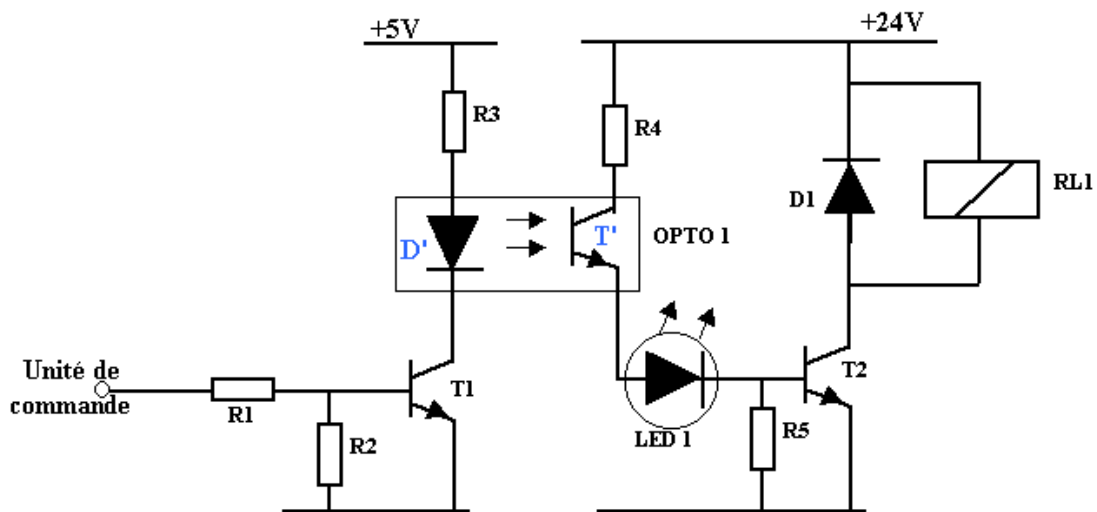
#### **Module de sortie analogique**

- Génère une tension ou un courant électrique proportionnel à une valeur numérique (DAC).

- Adapté aux moteurs (AC et DC), aux électrovannes proportionnelles.

### **Module de sortie logique**

- Génère un signal de contrôle binaire (deux états).
- Adapté aux lampes témoins, un relais électromagnétique, aux systèmes de verrouillage de porte.



**Figure II.9:** Schéma électronique d'un port de sortie

### **II.3.3 Mémoire**

Le stockage des données et des programmes s'effectue dans des mémoires. La mémoire vive (RAM) est volatile mais secourue par batterie. La mémoire morte (ROM) dont l'utilisateur ne peut que lire le contenu, contient le système d'exploitation, tandis que les programmes installés (utilisables) peuvent se stocker dans des mémoires reprogrammables (EEPROM) ou mémoire flash.

La capacité de stockage d'une mémoire s'exprime en kilooctets (Ko) : 1 Ko = 1024x8 bits). Il faut connaître la capacité minimale utile de l'API, mais aussi la capacité maximale que l'on peut obtenir par diverses extensions. La mémoire des automates est très inférieure à celle des microordinateurs.

**Exemple :** la mémoire RAM du nano automate TSX07 peut ainsi stocker 1 000 lignes de programme en langage « Liste d'instructions », mais 500 en langage à contacts ; elle peut aussi recevoir 256 mots variables de 16 bits, 64 mots constants, 128 bits internes.

### **II.3.4 Interface de communication et de liaison**

Les **liaisons** s'effectuent :

- avec l'extérieur par des **borniers** (à visser, à clipser, etc.) sur lesquels arrivent des câbles transportant le signal électrique.
- avec l'intérieur par des **bus**, liaisons parallèles entre les divers éléments, il peut y avoir plusieurs bus, car on doit transmettre des données, des états, des adresses.

### **II.4 Matériels externes de l'automate (Auxiliaires)**

Il s'agit principalement :

- de l'**alimentation électrique**,
- d'un **ventilateur** indispensable dans les châssis comportant de nombreux modules ou dans le cas où la température ambiante est susceptible de devenir assez élevée (plus de 40 °C),
- du **support mécanique**. Il peut s'agir d'un rack (structure métallique accueillant des cartes avec généralement un raccordement arrière), l'automate se présentant alors sous forme d'un ensemble de cartes, d'une armoire, d'une grille et des fixations correspondantes,
- d'**indicateurs d'état** concernant la présence de tension, l'exécution du programme (mode RUN), la charge de la batterie, le bon fonctionnement des coupleurs.

#### **II.4.1 Fonctionnement d'un automate**

La mise en marche d'un automate est effectuée après avoir repéré les entrées et les sorties des systèmes automatisés puis l'affectation et l'adressage de ces entrées/sorties par la suite l'étape la plus importante est la programmation en langage conçu et on termine par le câblage électrique de E/S du système automatisé.

Il existe trois modes de mise en route :

**Démarrage à chaud** : L'exécution du programme recommence. Les données rémanentes restent mémorisées.

**Démarrage à froid** : Les données actuelles sont effacées et l'exécution du programme recommence avec les valeurs initiales.

Redémarrage : Après le retour de la tension le programme reprend son exécution là où il a été interrompu.

## II.5 Programmation d'un automate

La programmation est un des atouts majeurs des API puisqu'elle permet une multitude de traitements des informations reçues sans toucher à la configuration matérielle.

La norme CEI (Commission Electrotechnique Internationale) définit cinq langages qui peuvent être utilisés pour la programmation des automates programmables industriels. Ces cinq langages sont :

1. Le langage SFC (Sequential Function Chart), ou GRAFCET.
2. Le langage à contacts LD (Ladder Diagram)
3. Liste d'instruction IL (Instruction List)
4. Blocs Fonctionnels FBD (Function Block Diagram)
5. Langage littérale structuré ST (Structured Text)

On peut les classés on deux catégories

On peut les classés on deux catégories

### **a) Langages textuels**

- IL (Instruction List) Liste d'instructions
- ST (Structured Text) Texte structuré

### **b) Langages Graphiques**

La représentation graphique est intéressante, pour programmer l'automate et représenter même le fonctionnement d'un système séquentiel automatisé.

Citons ici langage graphique de programmation :

- GRAFCET (GRaphe Fonctionnel de Commande Étape/Transition) (SFC)
- Diagramme en échelle LD (Ladder Diagram)
- Le langage FBD (function block diagram).

#### **II.5.1 Principe de programmation en GRAFCET [7]**

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etape Transition), également appelé « Diagramme Fonctionnel en Séquence ou Séquentiel Fonction Charte », permet l'établissement des descriptions de la fonction et du comportement des systèmes de

commandes en établissant une représentation graphique indépendant de la réalisation technologique.

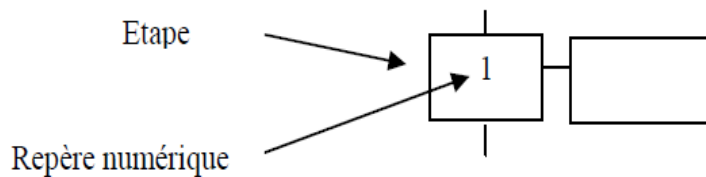
Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Etapes- Transitions) est un outil graphique de représentation du cahier des charges d'un automatisme séquentiel. Il est basé sur les notions d'**étapes** auxquelles sont associées des **actions** et de **transitions** auxquelles sont associées des **réceptivités**. Il décrit les ordres émis par la partie commande vers la partie opérative en mettant en évidence les actions engendrées.

Le GRAFCET se compose des éléments suivants :

- Étapes auxquelles sont associées des actions;
- Transition auxquelles sont associées des réceptivités;
- Liaisons orientées reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes.

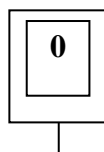
### II.5.1 Etape

- Une étape est symbolisée par un carré repéré numériquement, (Figure II.10).



**Figure II.10:** Représentation d'une Etape

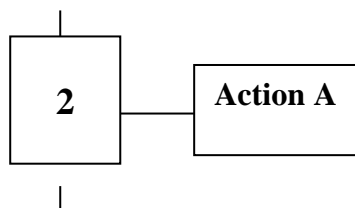
L'étape initiale est représentée par un double carré, (Figure II.11).



**Figure II.11:** Représentation d'une Etape Initiale

### II.5.2 Action associée à une étape

Une action est symbolisée par un rectangle relié au symbole de l'étape associé,(Figure 3.3).



**Figure II.12:** Représentation d'une action

### II.5.3 Transition

Une transition est représentée par une barre perpendiculaire à la liaison orientée. Une transition indique la possibilité d'évolution entre deux étapes successives, (Figure 3.4).

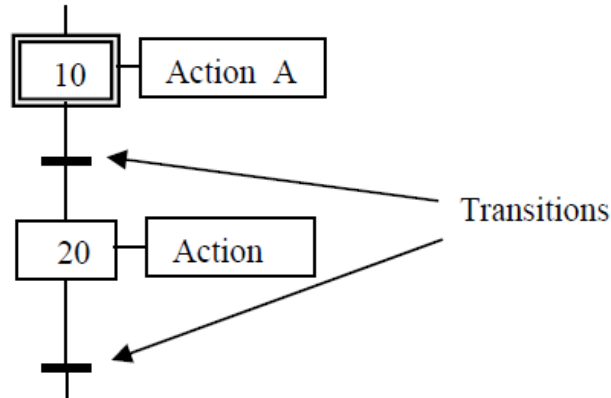


Figure II.13: Représentation d'une Transitions

Une transition est soit validée soit non validée. Elle est dite validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes reliées à cette transition sont actives.

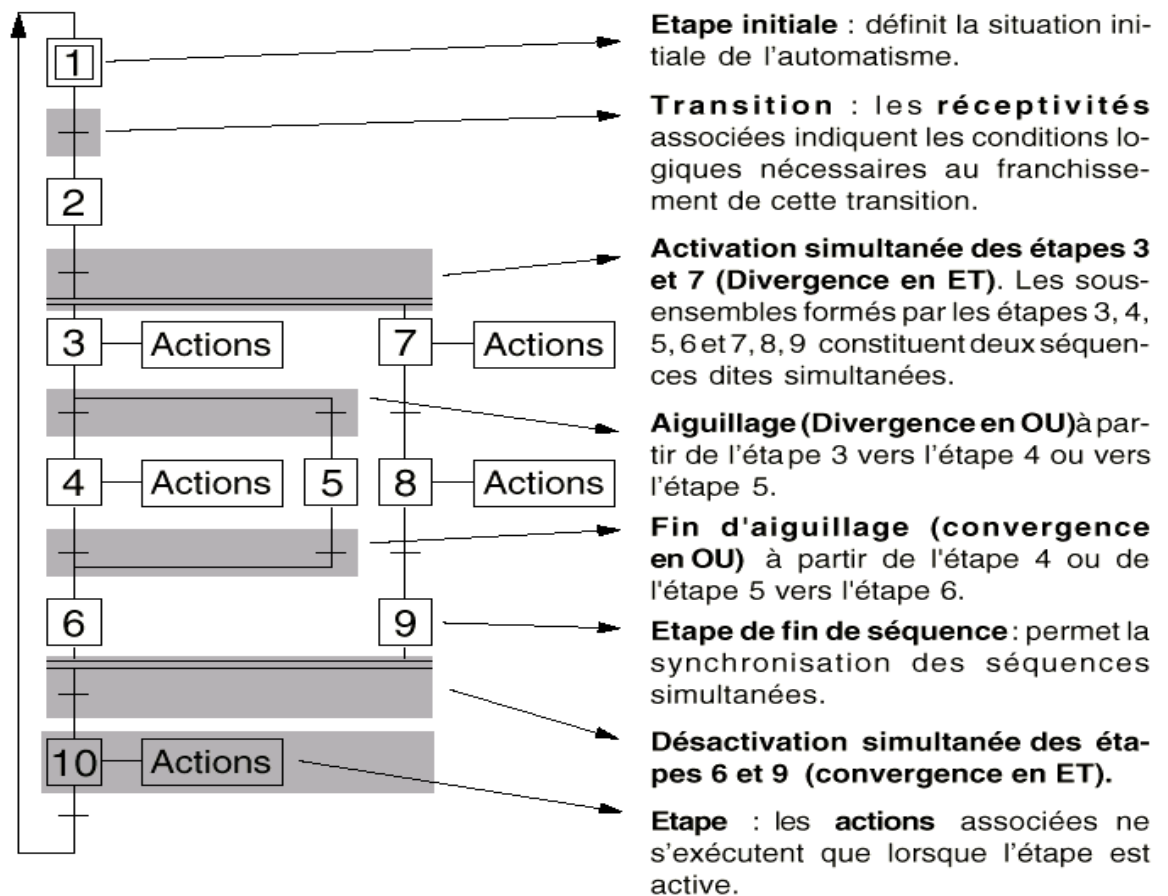


Figure II.14: Principe synthétique du GRAFCET [17]

Le GRAFCET permet de construire des modèles ayant une structure graphique (Représentation statique) à laquelle on associe une interprétation (Elle correspond à l'aspect fonctionnel du grafcet). De plus, ce modèle possède un comportement dicté par des règles d'évolution (représentation dynamique), complétées pour l'implémentation par des algorithmes d'application de ces règles.

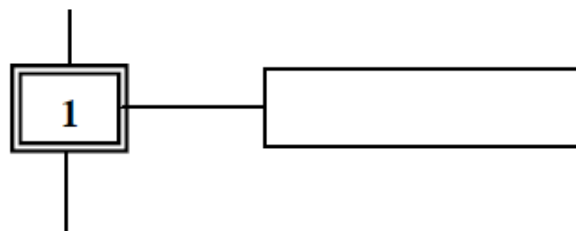
### **II.5.4 Règles d'évolutions**

La syntaxe du GRAFCET fait l'objet d'une norme (NF C03-190) et est basée sur cinq règles d'évolution qui définissent le caractère actif ou inactif d'une étape du GRAFCET [7] :

#### **II.5.4.1 Règle N°1 : initialisation**

La situation initiale du GRAFCET caractérise le comportement initial de la partie commande

vis-à-vis de la partie opérative et correspond aux étapes actives au début du fonctionnement, (Figure 3.6).



**Figure II.15:** initialisation d'une étape.

#### **II.5.4.2 Règle N°2 : franchissement d'une transition**

Le franchissement d'une transition ne peut se produire que lorsque:

- \* la transition est validée;
- \* la réceptivité associée à cette transition est vraie.

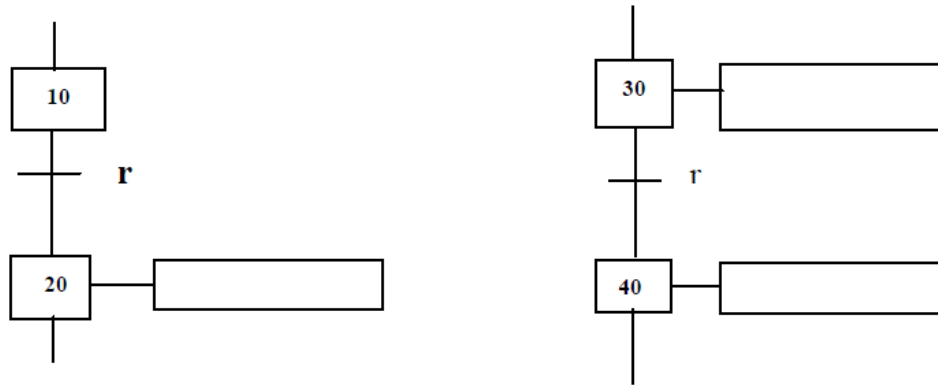
Une fois ces deux conditions sont réunies, la transition devient franchissable et est obligatoirement franchie.

#### **II.5.4.3 Règle N°3 : évolution des étapes actives**

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

#### **II.5.4.4 Règle N°4 :Evolutions simultanées**

Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies, (Figure 3.16).



**Figure II.16:** Transition non simultanément franchissable.

Deux GRAFCET séparés dont le franchissement de la transition r de l'un n'implique pas le franchissement de la transition r de l'autre.

#### **II.5.4.5 Règle N°5: Activations et désactivations simultanées d'une même étape**

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

Ces règles sont à la base des équations logiques de réalisation.

## **II.6 Présentation du logiciel Ziliosoft 2 en mode de programmation**

### **FBD[14]:**

#### **II.6.1 Principe de programmation en FBD (Function Block Diagram) [ 14]:**

Le mode FBD permet une programmation graphique basée sur l'utilisation de blocs fonctionnels (fonctions) prédéfinis.

En programmation FBD il existe trois types de fenêtres :

- la fenêtre édition,
- la fenêtre supervision

##### **II.6.1.1 Fenêtre d'édition**

Les programmes FBD sont créés dans la fenêtre d'édition. Elle est accessible à partir du menu

Mode → Edition ou en utilisant le bouton Edition de la barre d'outils .

La fenêtre d'édition se décompose en trois zones :

- la feuille de câblage où sont insérées les fonctions qui constituent le programme,
- la zone Entrées sur la gauche de la feuille de câblage où sont positionnés les entrées,
- la zone Sorties sur la droite de la feuille de câblage où sont positionnés les sorties.

Les entrées/sorties sont spécifiques au type de module logique et d'extensions choisis par l'utilisateur.

Le programme qui se trouve dans la fenêtre d'édition correspond au programme qui est :

- compilé,
- transféré dans le module logique,
- comparé au contenu du module logique,
- utilisé en mode simulation,
- utilisé en mode supervision.

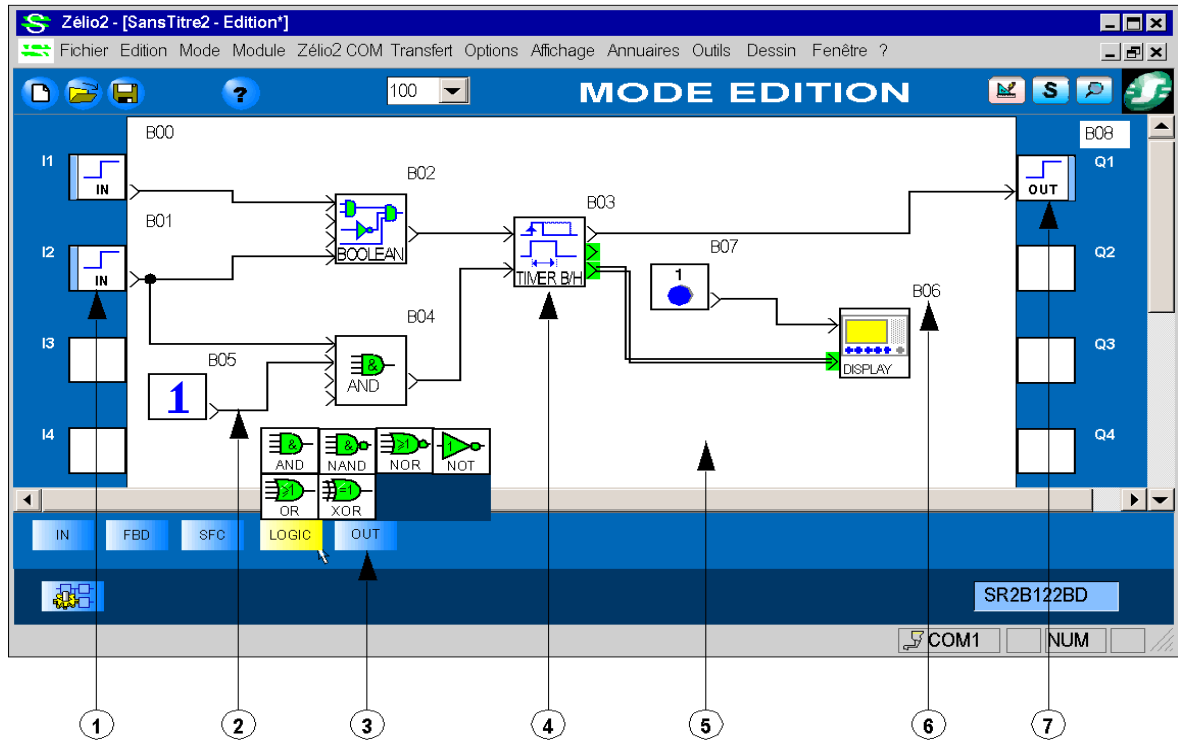


Figure II.17 : suivante présente un exemple d'une fenêtre d'édition en langage FBD [14]

### II.6.1.2 Description des éléments

Le tableau suivant présente les différents éléments de la fenêtre d'édition :

| Repère | Description                           |
|--------|---------------------------------------|
| 1      | Zone des blocs fonctions d'entrées.   |
| 2      | Connexion entre deux blocs fonction.  |
| 3      | Barre de fonctions.                   |
| 4      | Bloc fonction.                        |
| 5      | Feuille de câblage.                   |
| 6      | Numéro du bloc fonction.              |
| 7      | Zone des blocs fonctions des sorties. |

### II.6.1.3 Fenêtre de supervision/monitoring

La fenêtre de supervision/monitoring est un sous-ensemble de la fenêtre d'édition. .

Elle est accessible à partir:

- simulation: du menu Mode/Simulation ou en utilisant le bouton simulation de la barre d'outils



- monitoring  : du menu Mode/Monitoring ou en utilisant le bouton simulation de la barre d'outils

Elle contient les fonctions, sans leurs connexions, que le programmeur a extrait (Glisser/Déposer ou Copier/Coller) de la fenêtre d'édition.

La fenêtre peut également contenir des dessins, du texte et des images.

En mode simulation et monitoring les paramètres et les sorties des fonctions présentes sont mis à jour.

### II.6.1.4 Barre de fonctions

#### II.6.1.4.1 Présentation

Pour réaliser un programme FBD, les différentes fonctions à insérer dans la feuille de câblage sont disponibles dans une barre de fonctions. Dans chacun des onglets de la barre de fonctions est regroupé un type de fonctions.

Dés que la souris passe sur l'un des onglets, la boîte de dialogue affiche la liste des variables disponibles.

#### II.6.1.4.2 Barre de fonctions des entrées



Figure II.18: présente la barre de fonctions des entrées

### II.6.1.4.3 Barre de fonctions des fonctions standards

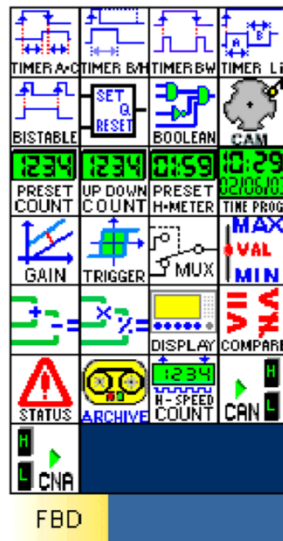


Figure II.19 : présente la barre de fonctions standards

### II.6.1.4.4 Barre de fonctions des fonctions SFC

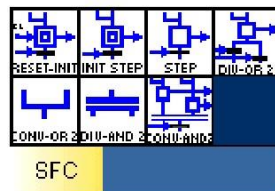


Figure II20 : présente la barre de fonctions SFC

### II.6.1.4.5 Barre de fonctions des fonctions logiques



Figure II .21: présente la barre de fonctions logiques

**II.6.1.4.6 Barre de fonctions des sorties**



Figure II.22: présente la barre de fonctions sorties

**II.6.2 Les éléments du langage FBD**

**II.6.2.1 Les différents blocs d'entrées**

**II.6.2.1.1 Entrée Tout Ou Rien (TOR)**

**II.6.2.1.1.1 Présentation**

L'Entrée Tout Ou Rien (TOR) est disponible sur tous les types de modules logiques. Les entrées TOR peuvent être disposées sur toutes les entrées du module logique.

La fonction Entrée Tout Ou Rien (TOR)















est accessible dans la barre de fonctions IN.

**II.6.2.1.1.2 Types d'entrées TOR**

Il est possible de sélectionner à partir de la fenêtre Paramètres le type d'entrées TOR pour l'affichage dans les fenêtres d'édition et de supervision.

| Type                  | Affichage à l'état Inactif | Affichage à l'état Actif |
|-----------------------|----------------------------|--------------------------|
| Entrée TOR            |                            |                          |
| Contact               |                            |                          |
| Détecteur de Position |                            |                          |

|                           |  |  |
|---------------------------|--|--|
| Détecteur de Proximité    |   |   |
| Détecteur de Présence     |   |   |
| Bouton Poussoir lumineux  |   |   |
| Commutateur               |   |   |
| Type                      | Affichage à l'état Inactif   | Affichage à l'état Actif   |
| Bouton Poussoir           |   |   |
| Relais normalement ouvert |  |  |

### II.6.2.1.3 Modes Simulation et Monitoring


Dans les modes Simulation ou Monitoring il est possible de forcer les entrées TOR. Dans ce cas le symbole d'entrée s'affiche comme indiqué dans le tableau précédent.

### II.6.2.2 Entrée Tout ou Rien (TOR) filtrée

#### II.6.2.2.1 Présentation

Une entrée TOR est filtrée au moyen d'un algorithme de détection d'un niveau (1 ou 0) constant sur le signal "capteur" mesuré pendant un certain temps. Si le signal est stable pendant toute la durée de détection, la sortie du symbole de l'entrée TOR filtrée prend la valeur du signal mesuré, sinon elle reste inchangée.

Les entrées TOR filtrées peuvent être disposées sur toutes les entrées du module logique.

La fonction Entrée Tout Ou Rien (TOR) filtrée  est accessible à partir de la fenêtre IN.

### **II.6.2.2 Paramètre**

La valeur du paramètre (entre 1 et 255) saisi dans la fenêtre Paramètres permet de définir le temps minimum pendant lequel le signal doit être stable. Cette valeur est un multiple de la période d'exécution du module logique.

### **II.6.2.3 Modes Simulation et Monitoring**

Dans les modes Simulation ou Monitoring il est possible de forcer les entrées TOR filtrée.

Dans ce cas le symbole d'entrée s'affiche de cette façon



### **II.6.2.3 Entrée analogique**

#### **II.6.2.3.1 Présentation**

L'entrée analogique est disponible sur les modules logiques alimentés en tension continue.

La tension d'entrée analogique est convertie en une valeur numérique entière par un convertisseur analogique/numérique 8 bits. La valeur entière de la sortie est comprise entre 0 et 255. Les entrées analogiques ne peuvent être raccordées qu'aux entrées numérotées de IB à IG.

La fonction Entrée analogique  est accessible dans la fenêtre IN.



#### **II.6.2.3.2 Paramètre**





Par défaut, cette tension varie entre 0 et 10 Vcc.

Le type de connexion électrique au niveau de l'entrée est à configurer dans la fenêtre Paramètres :

- 0 à 10 V
- L'option Potentiomètre est choisie si l'entrée est connectée à un potentiomètre alimenté par une tension comprise entre 0 volt et la tension du module logique.

#### **II.6.2.3.3 Types d'entrée analogique**

Dans la fenêtre Paramètres, vous pouvez sélectionner les types d'entrée analogique à afficher dans les fenêtres d'édition et de supervision.

| Type                | Affichage en mode édition   |
|---------------------|---|
| Entrée (par défaut) |  |
| Entrée              |  |
| Température         |  |
| Potentiomètre       |  |

#### **II.6.2.3.4 Modes Simulation et Monitoring**

En mode Simulation ou Monitoring, vous pouvez forcer (entre 0 et 255) la sortie des entrées analogiques.

#### **II.6.2.4 Entrée d'un entier**

##### **II.6.2.4.1 Présentation**

Cette fonction permet l'entrée d'un entier au format 16 bits (-32768, +32767) en provenance des entrées de certaines extensions connectées au module logique.

Les entrées d'un entier peuvent être disposées sur les entrées J1XT1 à J4XT1 des modules d'extension.



La fonction Entrée d'un entier est accessible à partir de la fenêtre IN.

#### **II.6.2.5 Les entrées spéciales dans le langage FBD**

##### **II.6.2.5.1 Présentation**

En FBD, différentes entrées spéciales sont disponibles :

- Bouton,

- Constantes TOR,
- Constantes numérique,
- Heure d'été,
- Clignotant 1 seconde.

Toutes ces entrées sont accessibles à partir de la fenêtre IN.



Ces entrées ne peuvent pas être insérées sur les plots d'entrée de la feuille de schéma.

#### **II.6.2.5.2 Entrées type Bouton**




Les entrées de type Bouton correspondent aux touches disponibles sur la face avant du module logique. Ces entrées peuvent être insérées dans un schéma FBD et pourront, en mode Simulation et Monitoring simuler des contacts.

#### **II.6.2.5.3 Entrées type Constante TOR**

Il y a deux types de constantes TOR, la constante à 1  et la constante à 0  . Ces deux constantes peuvent être utilisées pour positionner à 1 ou à 0 des entrées de fonction.

Dans les modes Simulation ou Monitoring il est possible de forcer ces entrées dans l'ordre inverse. Le symbole sera alors de couleur rouge.

#### **II.6.2.5.3 Entrées type Constante numérique**

La constante numérique NUM  est un entier dont la valeur est comprise entre -32768 et +32767.

Cette constante peut être utilisée pour fixer des valeurs sur les entrées non connectées des fonctions :

- GAIN, COMP IN ZONE, TRIGGER.

La valeur de la constante est configurable à partir de la fenêtre Paramètres.

Dans les modes Simulation ou Monitoring il est possible de modifier la constante.

## II.6.2.6 Les différents blocs de sorties

### II.6.2.6.1 Sortie Tout Ou Rien (TOR)

#### II.6.2.6.1.1 Présentation

Les modules logiques disposent de deux types de sorties TOR :











- les sorties statiques pour certains modules logiques alimentés avec une tension continue,
- les sorties relais pour les modules logiques alimentés avec une tension alternative ou continue.























La fonction sortie TOR est accessible à partir de la fenêtre OUT.

#### II.6.2.6.1.2 Types de sortie TOR

Il est possible de sélectionner à partir de la fenêtre Paramètres le type de Sortie TOR pour l'affichage dans les fenêtres d'édition et de supervision. La sélection est réalisée avec le symbole à l'état inactif de la sortie.

| Type                      | Affichage à l'état Inactif  | Affichage à l'état Actif   |
|---------------------------|---|--|
| Sortie TOR                |  |  |
| Relais normalement ouvert |  |  |
| Lampe                     |  |  |
| Relais statique           |  |  |
| Vanne                     |  |  |

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
| Vérin            |    |    |
| Type             | Affichage<br>à l'état<br>Inactif  | Affichage<br>à l'état<br>Actif   |
| Moteur           |    |    |
| Résistance       |    |    |
| Signal<br>sonore |    |    |
| Voyant<br>vert   |    |    |
| Voyant<br>rouge  |  |  |
| Voyant<br>orange |  |  |
| Voyant           |  |  |
| Chauffage        |  |  |
| Ventilateur      |  |  |

### II.6.2.6.1.3 Modes Simulation et Monitoring

Dans les modes Simulation ou Monitoring les sorties s'affiche dans l'état actif ou inactif avec leurs symboles correspondants (présentés dans le tableau précédent).

## II.6.2.7 Les fonctions logiques

### II.6.2.7.1 Présentation





Dans le langage FBD il est possible d'utiliser dans les schémas blocs des fonctions logiques. Les fonctions disponibles sont :



- la fonction NON,
- la fonction ET,
- la fonction OU,
- la fonction NON ET, □ la fonction NON OU,
- la fonction OU EXCLUSIF.

Ces fonctions sont accessibles à partir de la fenêtre LOGIC.

### II.6.2.7.2 Fonctions logiques

Le tableau suivant présente les différentes fonctions logiques :

| Fonction | Symbole   | Description   | Nombre d'entrée | Type entrée |
|----------|---|---|-----------------|-------------|
| NON      |  | Si l'entrée est inactive ou pas connectée, la sortie est active. Si l'entrée est active, la sortie est inactive.                            | 1               | TOR         |
| ET       |  | Si toutes les entrées sont actives ou pas connectées, la sortie est active.<br>Si au moins une entrée est inactive, la sortie est inactive. | 4               | TOR         |
| OU       |  | Si au moins une entrée est active, la sortie est active. Si toutes les entrées sont inactives ou pas connectées, la sortie est inactive.    | 4               | TOR         |
| NON ET   |  | Si au moins une entrée est inactive, la sortie est active. Si toutes les entrées sont actives ou pas connectées, la sortie est inactive.    | 4               | TOR         |

| Fonction    | Symbole   | Description  | Nombre d'entrée | Type entrée |
|-------------|---|--|-----------------|-------------|
| NON OU      |  | Si toutes les entrées sont inactives ou pas connectées, la sortie est active.<br>Si au moins une entrée est active, la sortie est inactive.  | 4               | TOR         |
| OU EXCLUSIF |  | Si une entrée est inactive et l'autre entrée est active ou pas connectée, la sortie est active.<br>Si les 2 entrées sont actives ou inactives ou pas connectées, la sortie est inactive. | 2               | TOR         |

### **II.6.3. Présentation des fonctions SFC**

Les fonctions SFC (Diagramme Fonctionnel en Séquence) sont assimilables au langage Grafset de la norme IEC 1131-3.

Le Grafset permet de représenter graphiquement et de façon structurée le fonctionnement d'un automatisme séquentiel.

Le principe est simple, un graphe avec des fonctions SFC se lit de haut en bas et se compose principalement :

- d'étapes,
- de transitions.

Les étapes se succèdent les unes aux autres encadrées par des transitions. Lorsqu'une étape

Est active, il faut attendre que la transition qui suit soit active pour passer à l'étape suivante. A chaque

Étape est associée une action (Sortie d'étape) qui transmet des ordres à d'autres fonctions (Sortie TOR, logiques, standards).

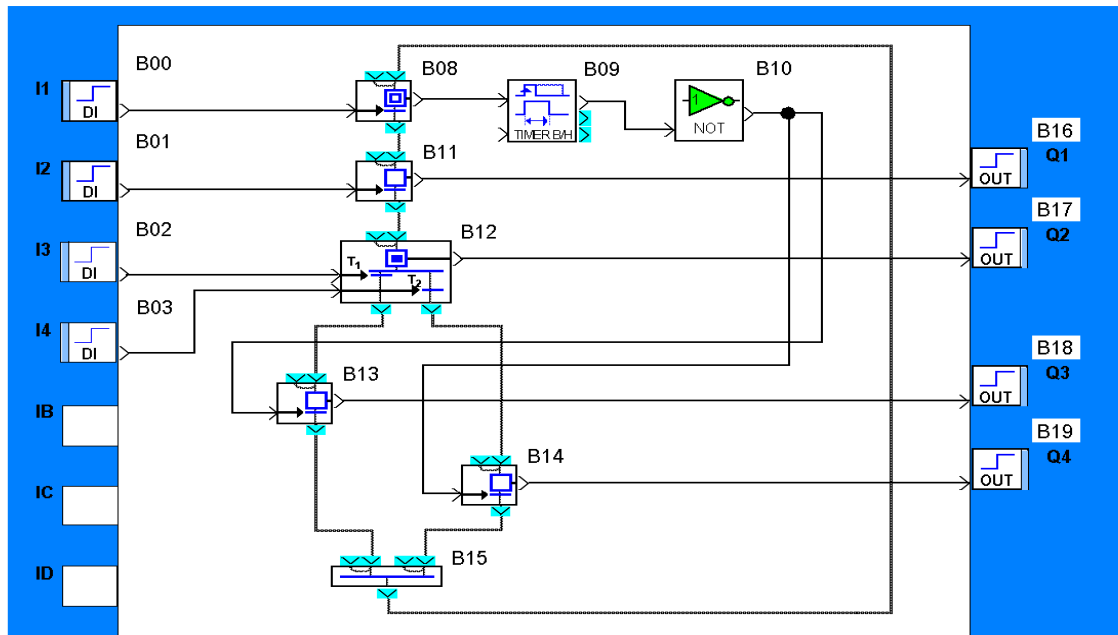


Figure II.23 : présente le grafcet précédant avec les fonctions SFC du langage FBD [14]

### II.6.3.1. Utilisation des étapes et transitions SFC

#### II.6.3.1.1 Description

Les étapes et transitions permettent de représenter et commander des phases consécutives de fonctionnement.

Chaque phase de fonctionnement est représentée par un symbole nommé étape. Quand cette phase de fonctionnement se déroule on dit que l'étape est active. Dans ce cas on dit, par définition, que l'étape contient un jeton d'état.

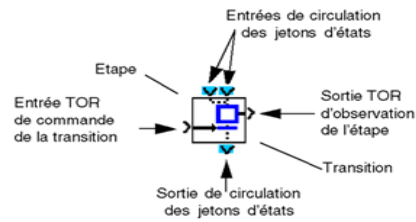
On observe que l'étape est active par la mise à MARCHE d'un TOR d'observation de cette étape.

Pour que la phase de fonctionnement se termine, il faut autoriser ou commander cette fin de phase. Pour cela on met à MARCHE une entrée TOR de commande de la transition.

La transition est alors dite passante et le jeton d'état la franchit. Il disparaît donc de l'étape et s'achemine vers la sortie de circulation des jetons états. En conséquence, le TOR d'observation prend l'état ARRET.

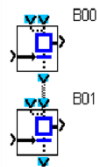
Quand la phase de fonctionnement est terminée, l'étape devient inactive et le TOR d'observation passe à ARRET.

Illustration :



L'arrêt d'une phase de fonctionnement (B01) est suivi immédiatement de la mise en route de la phase de fonctionnement suivante (B02). La phase de fonctionnement suivante est symbolisée aussi par une nouvelle étape et sa fin est également contrôlée par une transition.

Illustration:



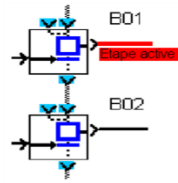
Pour matérialiser le fait que l'arrêt de la phase de fonctionnement B01 est suivi (en séquence) de la phase de fonctionnement B02, on câble la sortie de circulation des jetons d'état de B01 avec l'une des entrées de circulation des jetons d'état B02.

Dans ce cas, lorsque la mise à MARCHE de la commande de transition de B01 rend celle-ci passante le jeton présent dans l'étape de B01 "tombe" au travers de la transition passante vers l'étape de B02 où il se reste tant que l'entrée TOR de commande de la transition de B02 reste à ARRET (transition bloquée).

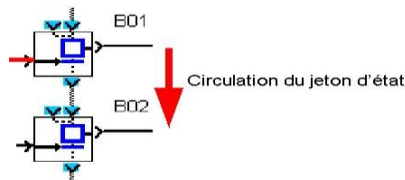
La sortie TOR d'observation de l'activité de l'étape de B02 passe à MARCHE. Dès que la transition de B02 devient passante, le jeton présent maintenant dans l'étape B02 s'échappe par la sortie de circulation des jetons d'état, la phase de fonctionnement associée à l'étape du bloc B02 est terminée et la sortie TOR d'observation de l'étape 2 passe à ARRET.

### **II.6.3.1.2 Fonctionnement**

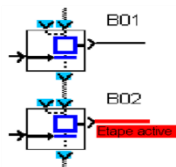
Le mécanisme se décompose en 4 étapes.



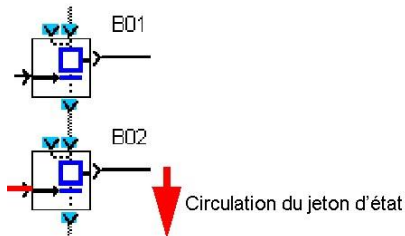
**Figure II.24 :** étape 1 active (état stable)



**Figure II.25 :** transition 1 active (état fugitif)



**Figure II.26:**étape 2 active (état stable)



**Figure : II.27 :** transition 2 active (état fugitif)

Si l'étape1 n'est pas active, la phase de fonctionnement (B01) associée n'est pas en cours, donc, par définition, le jeton d'état n'est pas présent dans l'étape1. Donc la mise à MARCHE de l'entrée

TOR de commande de la transition 1 qui rend la transition passante n'a aucun effet puisqu'il n'y a pas de jeton dans l'étape1, il ne peut pas tomber.

Les TOR entrées de commande de chaque transition et les TOR sorties d'observation de chaque étape peuvent être connectés aux autres blocs FBD avec des entrées ou des sorties TOR.

Par exemple, une combinaison booléenne d'entrées peut commander la transition 1, un bouton peut commander la transition 2, le booléen d'observation de l'étape 1 faire basculer un relais et le booléen d'observation de l'étape 2 activer l'affichage d'un message.

### II.6.3.1.3 Utilisation des divergences ET

#### II.6.3.1.3.1 Description

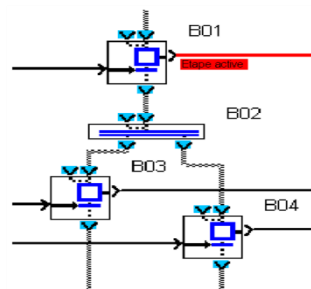
La divergence ET permet de représenter et de commander des phases simultanées de fonctionnement. Cette représentation d'enchaînement de phases de fonctionnement décrit le mécanisme inverse de celui de la convergence ET.

Une phase de fonctionnement (B01) peut être suivie de deux phases de fonctionnement qui se déroulent en même temps et qui affectent, par exemple, deux organes de commande d'un même équipement.

Pour représenter ce mode de fonctionnement, on utilise une fonction nommée Divergence ET vers 2 branches SFC (ou DIV AND 2) qui est câblée à deux fonctions étapes qui symbolisent, chacune, une des phases simultanées de fonctionnement.

Quand l'entrée de commande de transition du bloc B01 est à MARCHE, le jeton, s'il est présent dans l'étape B01, migre depuis cette l'étape, au travers de la transition B01, se dédouble en deux jetons qui, tombant dans les étapes B03 et étapes B04, matérialisent l'activation des deux phases de fonctionnement parallèles.

-Mécanisme



**figure: II.28** étape B01 active (état stable)

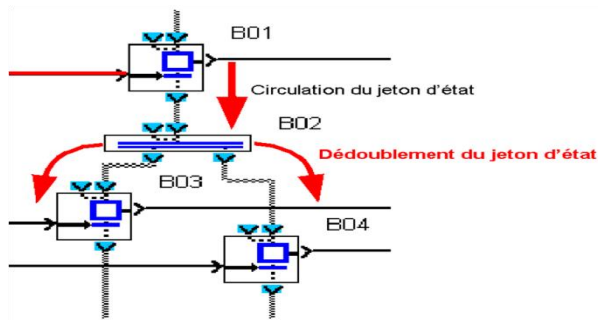


figure: II.29 : transition 1 active (état fugitif)

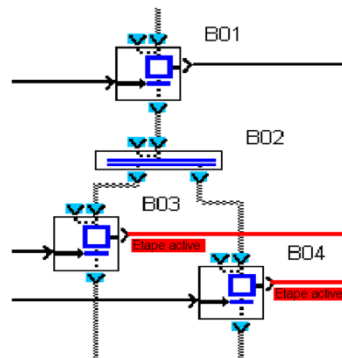


figure: II.30 : étape 3 et 4 actives (états stables)

#### II.6.3.1.4 Utilisation des divergences OU

##### II.6.3.1.4.1 Description

La divergence OU permet d'enchaîner après une phase de fonctionnement une ou deux phases de fonctionnement parmi un choix de deux phases possibles.

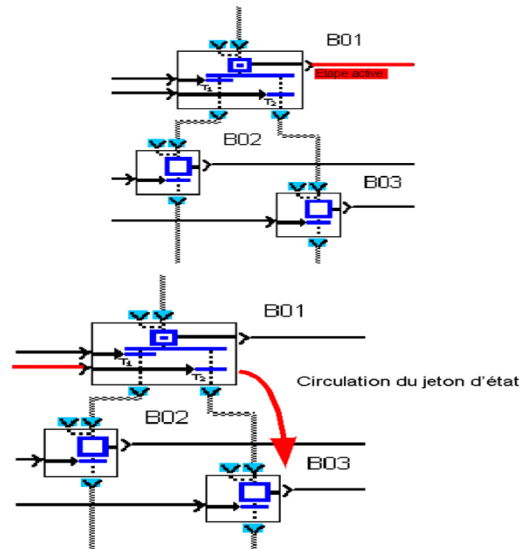
Cette représentation d'enchaînement de phases de fonctionnement décrit le mécanisme inverse de celui de la convergence OU (CONV OR 2).

Une phase de fonctionnement B01 peut être suivie de deux phases de fonctionnement qui forment une alternative non exclusive : on active soit l'une B02, soit l'autre B03, soit les deux, à la fin de la phase de fonctionnement B01.

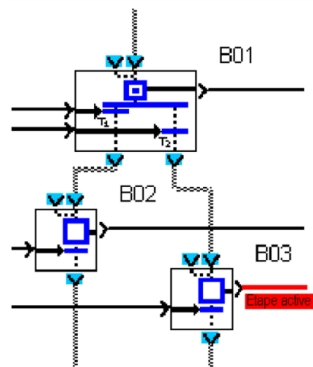
Pour représenter ce mode de fonctionnement on utilise une fonction nommée Divergence OU de 2 branches SFC (ou DIV OR 2) qui est câblée à deux fonctions étapes qui symbolisent, chacune, une des phases de fonctionnement dont le choix est possible (B02 ou/et B 03).

Si le jeton d'état est présent dans l'étape (phase de fonctionnement B01), le choix se fait en forçant à MARCHE l'une ou/et l'autre des entrées de commande de chaque transition de B01 qui sont respectivement reliées en aval aux étapes B02 et B03.

Ceci entraîne donc la fin de la phase de fonctionnement B01, la migration du jeton depuis l'étape B01, au travers de la (des) transition(s) passante(s) (dont l'entrée de commande est à MARCHE) vers l'étape qui lui est connectée.



**Figure II.31:** Exemple d'une seule des deux transitions du choix est active (étape B01 active )



**figure II.32:** étape B03 active (état stable)

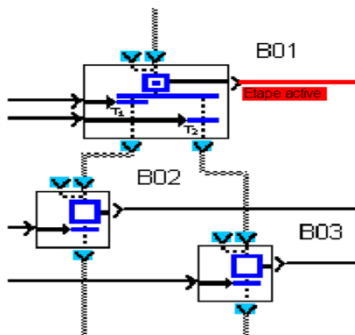


figure II.33: étape B01 active (état stable)

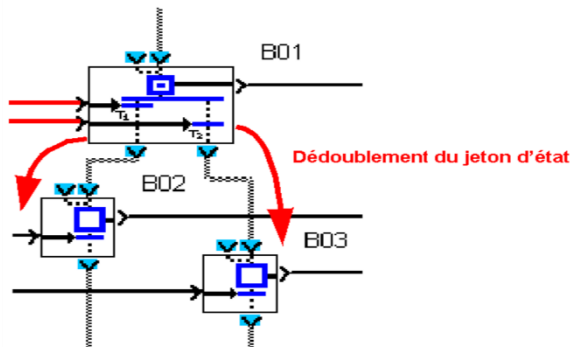


figure II.34: Exemple pour deux transitions sont passantes à la fois (transition 1 et 2 de B01 actives (état fugitif)).

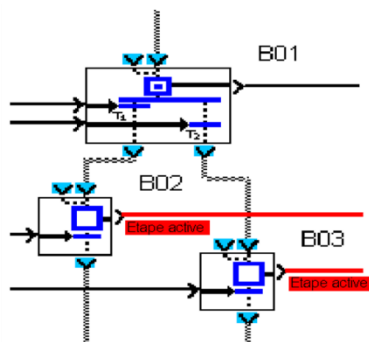


figure II.35: étapes B02 et B03 active (états stables):

### II.6.3.1.5 Utilisation des convergences ET

#### II.6.3.1.5.1 Description

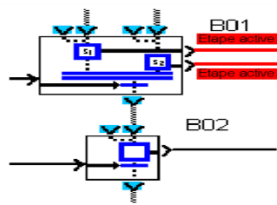
La convergence ET permet d'enchaîner une phase unique de fonctionnement après des phases simultanées de fonctionnement. Cette représentation d'enchaînement de phases de fonctionnement décrit le mécanisme inverse de celui de la divergence ET.

Deux phases simultanées de fonctionnement (étapes 1 et 2 de B01) peuvent être suivies d'une seule phase de fonctionnement qui ne peut s'engager qu'après la fin simultanée des deux phases précédentes.

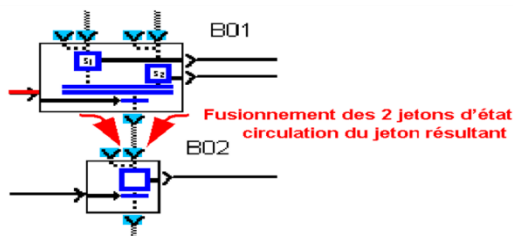
Pour représenter ce mode de fonctionnement, on utilise une fonction SFC nommée Convergence ET de 2 branches SFC (ou CONV AND 2) qui est câblée aux deux fonctions étapes amont qui symbolisent chacune une des phases simultanées de fonctionnement et à une étape aval qui symbolise la phase unique qui s'enchaîne sur les deux phases de fonctionnement précédentes.

Chacun des jetons migre depuis son étape respective, au travers de sa transition associée, fusionne en un seul jeton qui tombant dans l'étape B02 matérialise l'activation de la phase unique de fonctionnement suivante.

**-Mécanisme**



**figure II.36:** étape 1 et 2 de B01 simultanément actives (état stable):



**Figure II.37 :** transition B01 active (état fugitif)

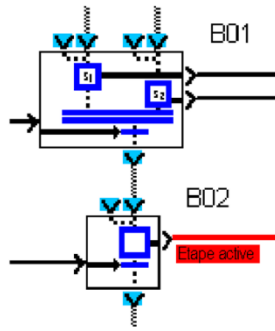


Figure II.38:étape B02 active (état stable):

Si un seul jeton est présent dans une des étapes amont et que l'autre est vide (inactive) alors, même si la transition est commandée à MARCHE, rien ne se passe. L'étape qui contenait le jeton reste active (sortie du TOR d'observation de l'étape à MARCHE ) et l'étape aval (B03) reste inactive .

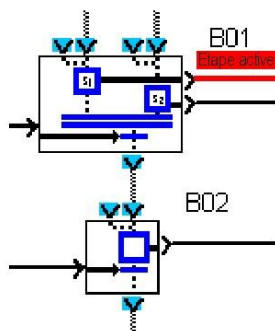


Figure II.39 : seule l'étape 1 active (état stable) mais l'étape 2 est non active

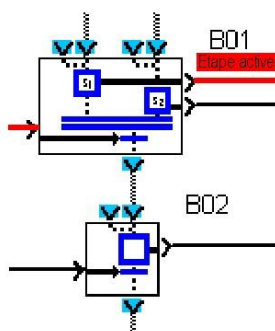


Figure II.40 :transition B01 active (état stable)

### II.6.3.1.6 Utilisation des convergences 0U

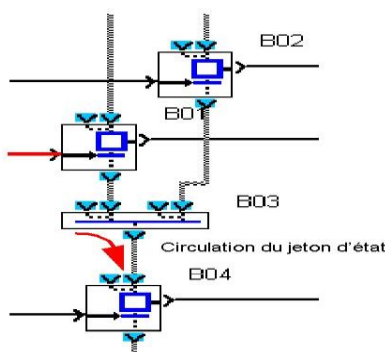
#### II.6.3.1.6.1 Description

La convergence OU permet d'enchaîner une même phase de fonctionnement après l'une ou l'autre de deux phases de fonctionnement précédentes (simultanées ou non). Cette représentation d'enchaînement de phases de fonctionnement décrit le mécanisme inverse de celui de la divergence en OU (DIV OR 2).

Deux phases de fonctionnement simultanées ou non (étapes B01 et/ou B02) sont suivies d'une seule phase de fonctionnement qui ne peut s'engager qu'après la fin de l'une des deux phases précédentes (dès que l'on commande à MARCHE la transition B01 ou B02).

Pour représenter ce mode de fonctionnement, on utilise une fonction SFC nommée Convergence 0U de 2 branches SFC (ou CONV OR 2) qui est câblée aux deux transitions amont qui contrôlent chacune la fin d'une phase de fonctionnement (étape B01, étape B02) et à une étape aval (B03) qui symbolise la phase unique qui s'enchaîne après l'une et/ou l'autre des deux phases de fonctionnement précédentes.

La première entrée de commande rendant une transition passante alors que le jeton d'activation est présent dans l'étape associée, laisse le jeton migrer vers l'étape aval (B03) ce qui symbolise l'engagement de la phase 3 de fonctionnement.



**Figure II.41 :** Exemple étape 1 de B01 active (état stable) et transition B01 active (état fugitif)

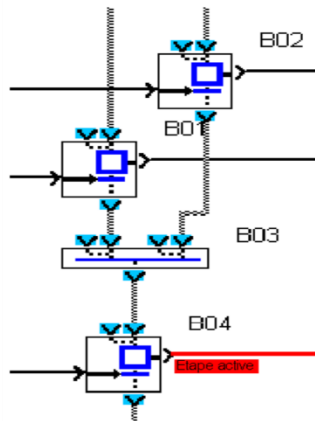


figure II.42: Exemple étape 1 de B04 active (état stable)

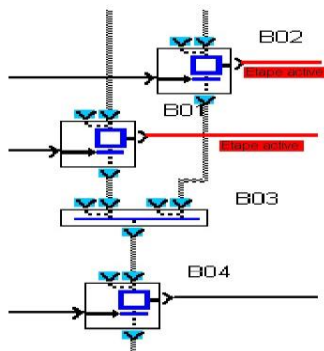


Figure II.43 : Exemple étape de B01 et de B02 simultanément actives (état fugitif)

Fin simultanée des phases 1 et 2 de fonctionnement: transition B01 et B02 simultanément actives ( état fugitif ):

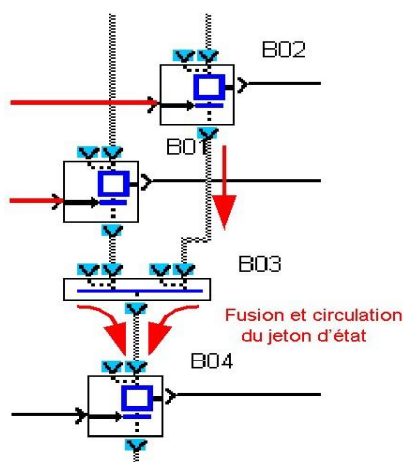


Figure II.44 : Exemple de transition B01 et B02 simultanément actives ( état fugitif )

Phase 3 de fonctionnement en cours: étape B04 active (état stable):

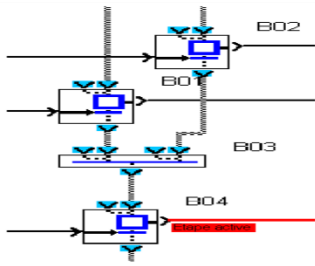


Figure II.45 : Exemple étape B04 active (état stable)

### II.6.3.1.7 Utilisation des boucles SFC

#### II.6.3.1.7.1 Description

Les boucles permettent de construire une suite de phases de fonctionnement sans fin.

La plupart des automates sont conçus pour fonctionner en enchaînant en continu une séquence de phases de fonctionnement après une phase d'initialisation. Pour réaliser cet enchaînement, le programmeur doit boucler sur lui-même les liens de type "circulation des jetons d'état".

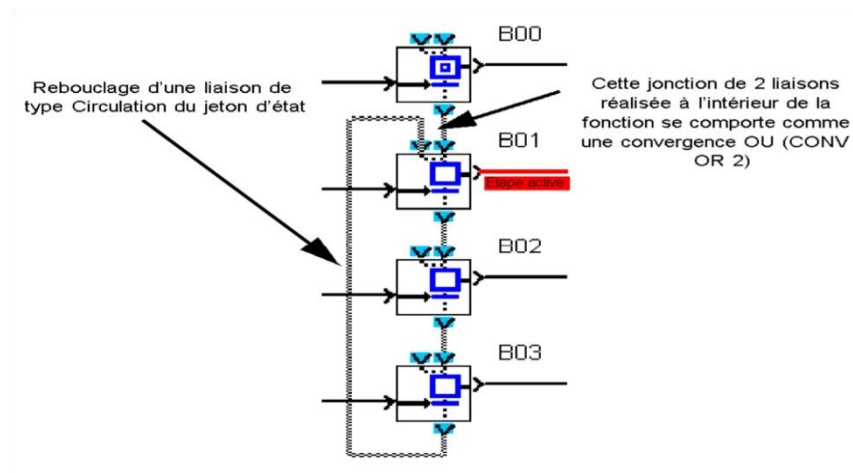


Figure II.46: Exemple étape B01 active (état stable)

### II.6.3.1.8 Initialisation d'un graphe SFC au début d'un programme

#### II.6.3.1.8.1 Description

Lors du lancement (initialisation) du programme contenant un graphe SFC, il faut savoir quelle phase de fonctionnement doit être activée en premier donc quelle est l'étape qui contient un jeton d'état au moment de l'initialisation.

Pour matérialiser dans le graphe cette étape, on doit obligatoirement utiliser au moins une fonction SFC nommée Etape initiale SFC (INIT STEP) ou Etape initiale réinitialisable SFC (RESET INIT) par graphe SFC disjoint.

On nomme graphe SFC disjoint un ensemble de fonctions SFC toutes reliées entre elles par des liaisons entre les entrées sorties de type jeton (circulation des jetons d'état).

Au lancement du programme utilisateur (dès que l'on exécute l'ordre INITIALISER ET MARCHE) :

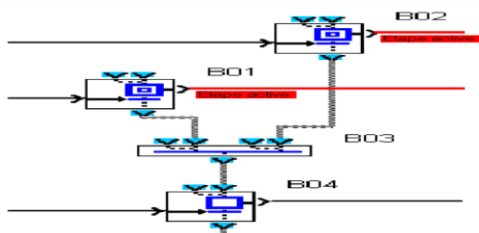
- tous les graphes qui ne contiennent qu'une ou des fonctions Etape initiale SFC (INIT STEP) sont initialisés automatiquement, cette ou ces fonctions INIT STEP contiennent un jeton d'état qui symbolise autant de phases de fonctionnement actives.

Toutes les autres étapes appartenant aux autres fonctions ne contiennent aucun jeton, toutes les phases de fonctionnement qu'elles symbolisent ne sont pas activées.

- cette initialisation automatique s'effectue également lors d'une reprise après coupure secteur.

Les positions qu'avaient les jetons d'états lors de la coupure secteurs sont perdues,

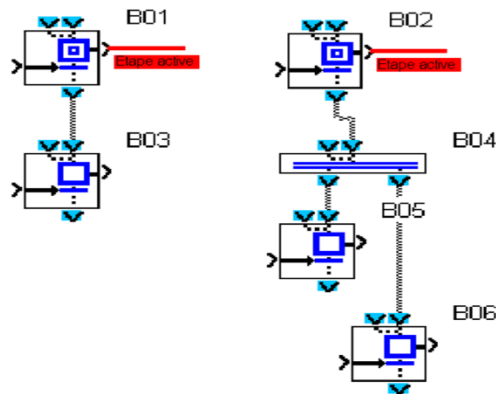
- Dans tous les graphes qui contiennent une fonction RESET INIT, il est obligatoire au tout début du programme de mettre un signal MARCHE sur l'entrée Réinitialisation et d'invalider les sorties du module logique qui pourraient prendre des états parasites dangereux, sur reprise après une coupure secteur, les positions qu'avaient les jetons d'états lors de la coupure secteur sont restituées.



**Figure II.47 :** Exemple de l'étape de B01 et B02 simultanément actives (états stables)

L'exemple suivant montre deux graphes SFC disjoints possèdent chacun une fonction Etape initiale SFC.

Initialisation et marche du programme, phases initiales 1 et 2 de fonctionnement simultanément en cours, étape de B01 et B02 simultanément actives dans 2 graphes SFC disjoints (états stables)



**Figure II.48 :** Exemple étape de B01 et B02 simultanément actives dans 2 graphes SFC disjoints (états stables)

## 5. Conclusion

La conception des systèmes de commande autour des automates programmables facilite la tâche d'automatisation des systèmes hydrauliques. En effet, pour faire fonctionner cette unité de commande il faut la programmer et l'adapter à un compilateur de programmation tel que ZelioSoft 2 afin de le pouvoir flasher qui sera l'objectif du chapitre qui suit. Etant donné que le GRAFCET est l'un des outils de programmation des systèmes automatisés les plus faciles à utiliser le mode de programmation FBD et SFC sont à la base du GRAFCET. En conclusion nous pouvons dire que l'automate joue le rôle principal d'une unité de commande et contrôle pour notre système.

---

# *Chapitre III*

## **Conception du système de contrôle de turbidité**

---

### III. 1 Introduction

Le contrôle de turbidité sur rivière va améliorer la qualité et le coût du traitement des eaux dans les stations de traitement. Cette étude a pour but d'installer le système automatique pour empêcher l'infiltration de l'eau trouble vers d'autres zones de captage.

### III.2 Cahier de charge et Conception du système de contrôle de turbidité

On désire rendre l'ouvrage de captage d'eau automatique plus performant. Alors on équipe ce système de captage d'eau sur rivière par un distributeur, un vérin simple effet, deux pompes l'une pour activer le vérin et l'autre pour ramener de l'eau de rivière vers la station, un automate de type zelio logic, un capteur de niveau, un capteur de turbidité et un bouton de marche en mode automatique. Le capteur de turbidité est chargé de fermer la vanne murale à l'aide du vérin pour empêcher de l'eau trouble à s'infiltrer. Le fonctionnement en mode automatique de ce système est exécuté par l'automate zelio logic. Alors si le niveau CPN est atteint par l'eau, la pompe 2 démarre et elle s'arrête si le niveau du liquide est au-dessous du CPN, si la mesure de turbidité T est supérieure à une valeur de seuil  $T_s$  la vanne murale sera active et reste fermée jusqu'à ce que la mesure de turbidité soit inférieure à la valeur du seuil  $T_s$  à ce moment la vanne est ouverte.

### III.3. Partie commande :

#### III.3.1 Câblage des entrées et sorties de l'automate :

Nous connectons les capteurs à la section de contrôle afin que les modules d'entrée traduisent les références aux informations numériques qui peuvent être lues par l'automate.

- Le vérin est entraîné par des signaux programmables à l'aide d'un capteur de turbidité
- La pompe est entraînée par des signaux programmables à l'aide d'un capteur de niveau

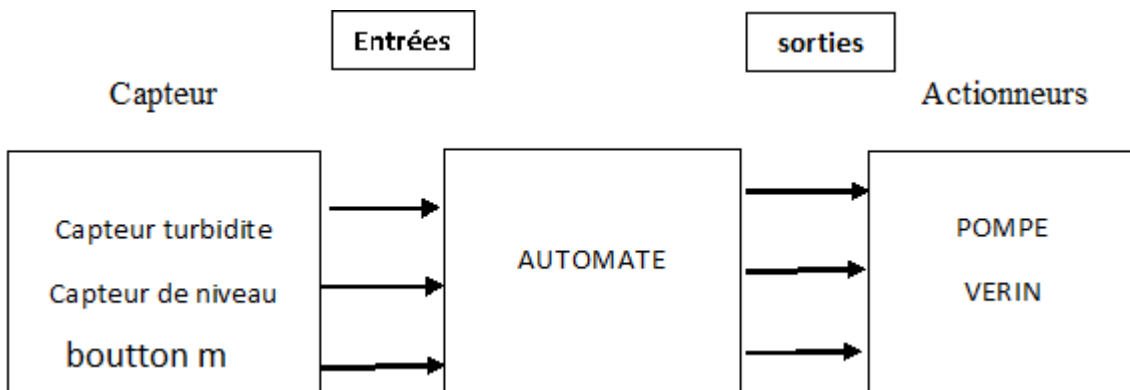
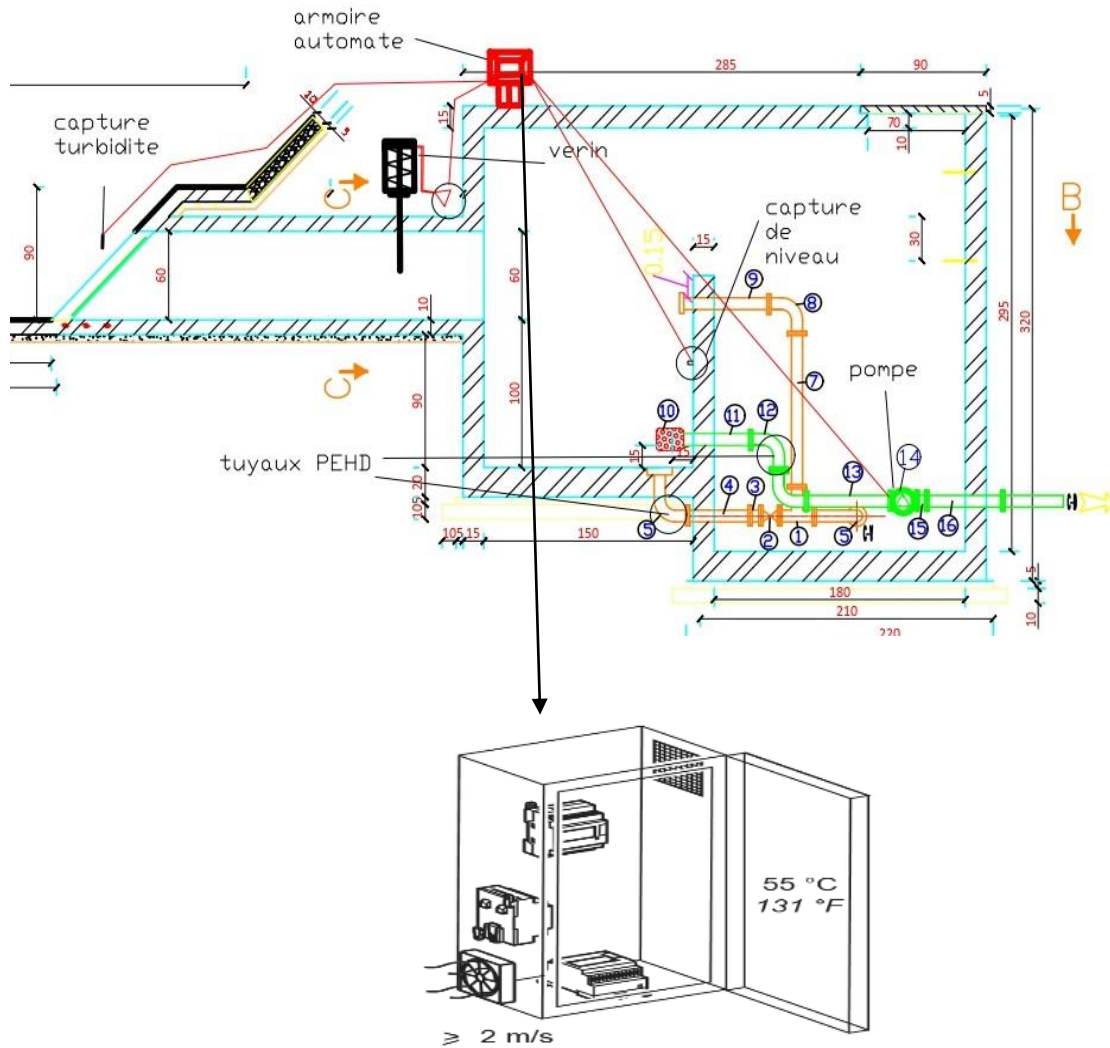


Figure III.1: Indication des variable d'entrées/sorties du Système de commande.



**Figure III.2:** Implantation de l'automate Zelio logic dans l'armoire de commande et contrôle de turbidité

### III.3.2 Programmation de l'automate et principe de fonctionnement:

Pour établir le fonctionnement de notre système on a besoin de programmer l'automate. La programmation est un des atouts majeurs des automates puisqu'elle permet une multitude de traitement des informations reçues sans toucher à la configuration matérielle. On a choisi le langage GRAFCET qui est l'un des outils graphiques de rédaction du cahier des charges d'un automatisme, il peut également être utilisé pour spécifier le comportement attendu de la partie opérative ou bien de tout le système de commande.

En effet, l'établissement des descriptions de la fonction et du comportement de notre système de commande (figure III.3) est traduit par le programme en langage GRAFCET suivant:



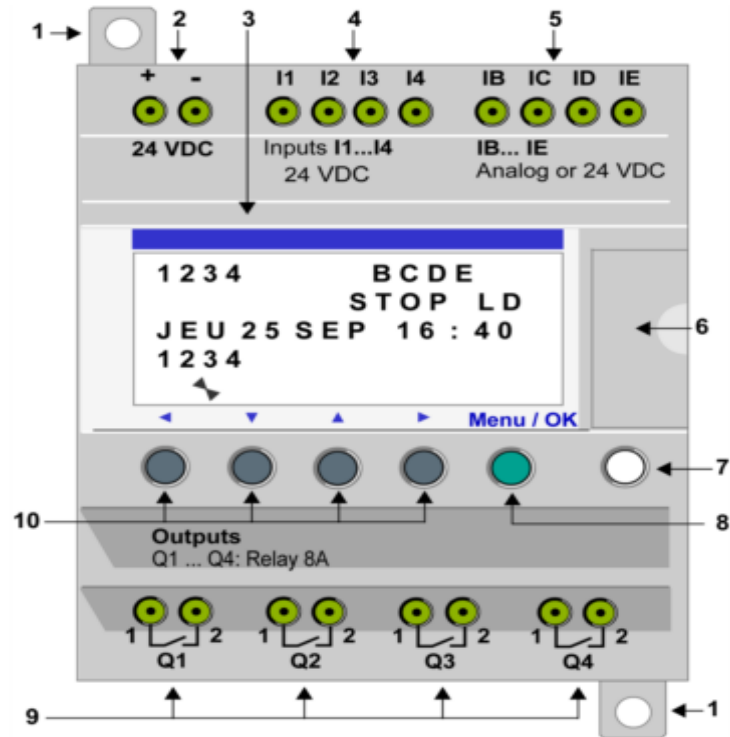


Figure III.4: Description de la face avant du module logique [14]

| Légende | Élément  |
|---------|--|
| 1       | Patte de fixation rétractable.   |
| 2       | Bornier à vis pour l'alimentation.   |
| 3       | Afficheur LCD, 4 lignes, 18 caractères.  |
| 4       | Bornier à vis pour les entrées TOR.  |
| 5       | Bornier à vis pour les entrées analogiques.<br>0-10 Volts, utilisable en tant qu'entrées TOR selon la référence. |
| 6       | Emplacement pour mémoire de sauvegarde ou câble de raccordement PC.  |
| 7       | Touche <b>Maj</b> (blanche)  |
| 8       | Touche <b>Menu/OK</b> (verte) pour la sélection et la confirmation.  |
| 9       | Bornier à vis pour les sorties relais.   |
| 10      | Touches de navigation (grises), ou configurées en tant que touches Z.  |

#### Description de l'afficheur LCD

L'illustration ci-dessous présente un exemple du contenu de l'écran des ENTREES-SORTIES sur l'afficheur LCD :

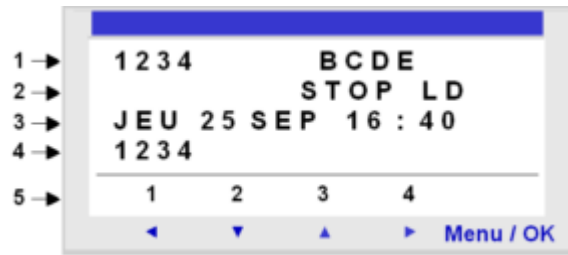


Figure III.5: Afficheur LCD de l'automate Zélio logic [14]

| Légende | Élément  |
|---------|--|
| 1       | Affichage de l'état des entrées (B ... E représentent les entrées analogiques).<br><b>NOTE :</b> Une entrée ou une sortie ACTIVE s'affiche en vidéo inverse. |
| 2       | Visualisation du mode de marche (RUN/STOP) et du type de programmation (LD/FBD).   |
| 3       | Visualisation de la date (jour et heure sur les produits incluant une horloge).  |
| 4       | Visualisation de l'état des sorties.   |
| 5       | Menus contextuels / boutons-poussoirs / icônes indiquant les modes de marche.  |

### III .4.2 Touches de commandes de la face avant du module logique

Les touches situées sur la face avant du module logique permettent de configurer, programmer, commander l'application et surveiller le déroulement de celle-ci

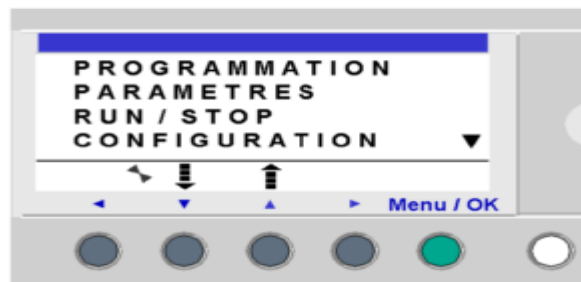











Figure III.6: Situation des touches sur la face avant de l'automate Zélio logic

La modification de la date et de l'heure est donnée par les étapes suivantes :

| Étape | Action  |
|-------|---|
| 3     | <p>Sélectionnez le paramètre à modifier à l'aide des touches fléchées (le paramètre sélectionné clignote) :</p>  <p>Modifiez le paramètre à l'aide des touches de navigation :</p>  <p>Confirmez avec la touche <b>Menu/OK</b> :</p>  <p>La touche <b>Menu/OK</b> permet de confirmer les modifications. Le menu <b>PRINCIPAL</b> s'affiche à nouveau lorsque le module logique est en mode STOP. Illustration :</p>  |
| 1     | <p>Sur l'écran <b>ENTREES-SORTIES</b>, accédez au menu <b>PRINCIPAL</b>, puis au menu <b>CHANGER DIH</b> :</p>  <p>puis  9 fois en mode LD (7 fois en mode FBD)</p> <p>Illustration :</p>    |
| 2     | <p>Accédez au menu de configuration de la date et l'heure :</p>  <p>Illustration :</p>   |

| Etape | Action  |
|-------|---|
| 4     | Retournez à l'écran des ENTREES-SORTIES<br><br><br>Illustration :<br> |

### III.4.3 Modes de programmation

Modules logiques avec écran :

Il existe deux manières d'aborder la programmation des modules logiques avec écran :

- **Par la face avant du module.**

Cette approche s'adresse aux personnes maîtrisant la programmation directe sur les modules logiques.

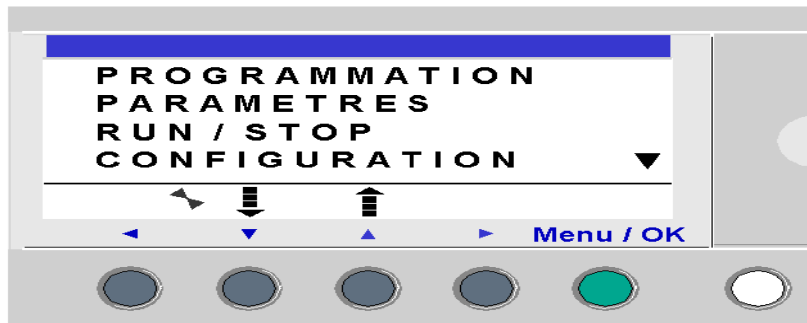


Figure III.7 : la face avant du module

- **Par le logiciel Zelio Soft installé sur PC**

Nous avons choisi cette approche qui nécessite la connaissance de la programmation en langage FBD.

Le logiciel de programmation Zelio Soft 2 est conçu pour programmer les modules logiques de la gamme Zelio Logic. Zelio Soft 2 vous permet de choisir entre les langages de programmation, d'afficher les données du programme et des paramètres, de charger et télécharger des applications, ainsi que d'imprimer la documentation de l'application (Voir chapitre 2).

### III.4.4 Simulation du processus d'automatisme :

La programmation de l'automate du cahier des charges en langage FBD est effectuée par la connexion avec un PC doté du logiciel Zelio Soft 2 selon la structure suivante :

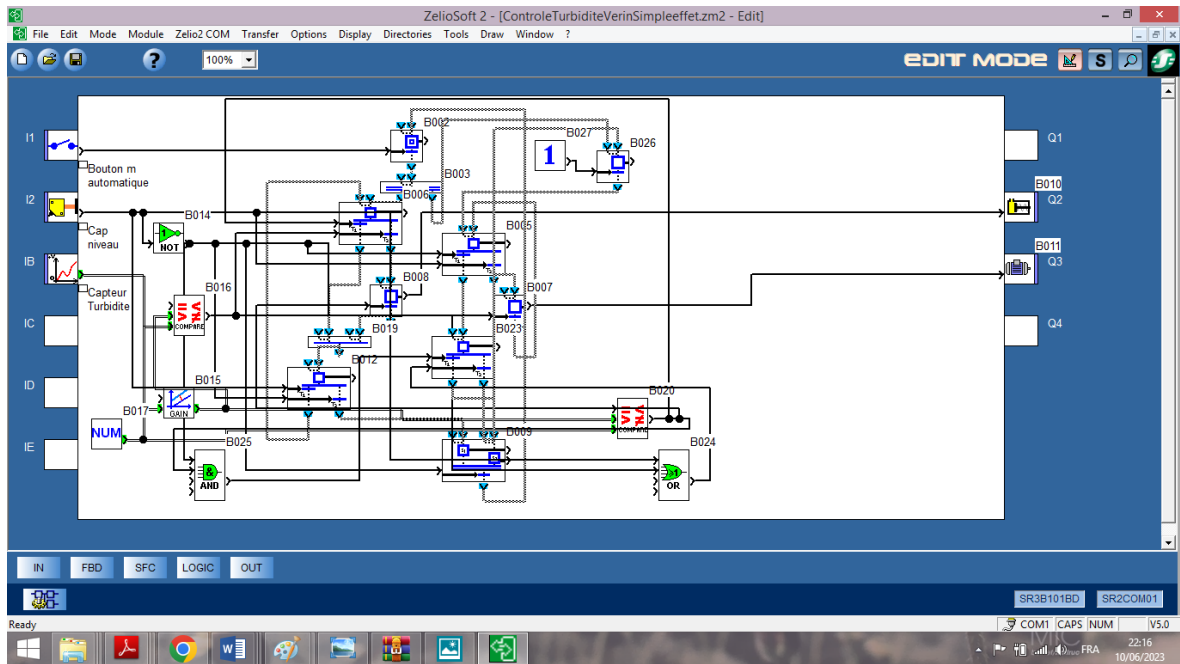



Figure III.8 : schéma représentant le programme en FBD

Le logiciel **Zelio-soft 2** permet de simuler le fonctionnement du système construit en suivant les étapes suivantes :

- 1- Cliquer sur simulation du menu Mode/Simulation ou en utilisant le bouton simulation de la barre d'outils 

Cliquer à RUN

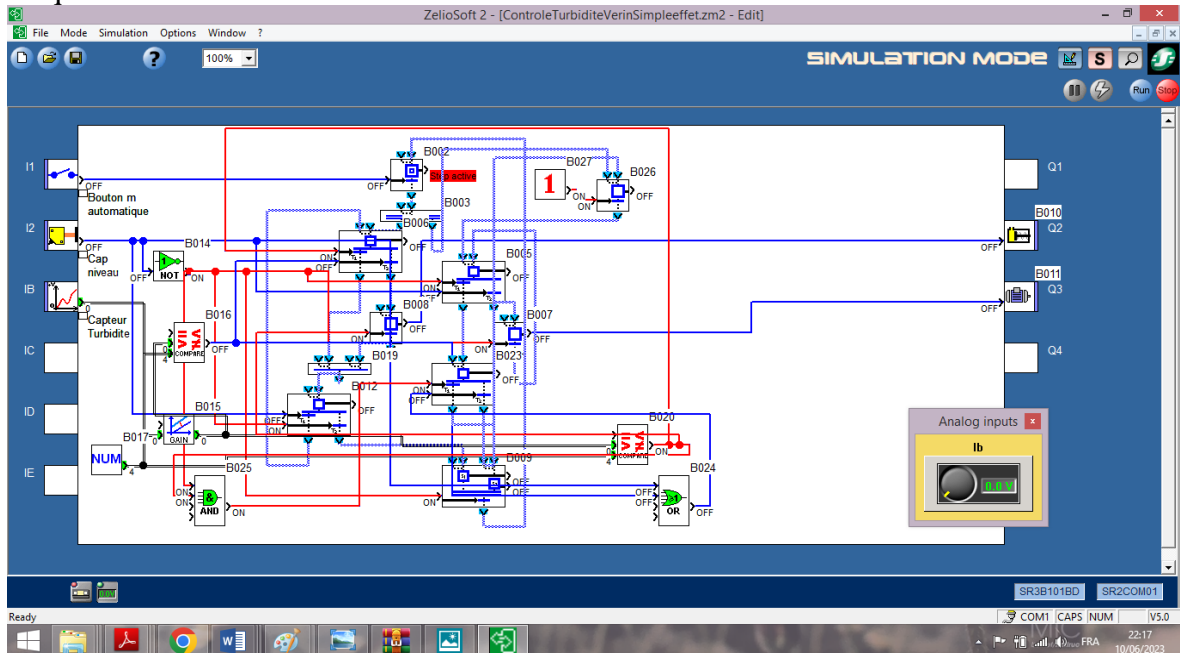


Figure III.09 : exécution du programme en mode simulation

**Etape 1 :** Une fois que le programme a exécuté avec succès le terminal et qu'il est exempt d'erreurs, une boule rouge apparaît dans la première étape du graphique qui parcourt les étapes pour afficher les étapes actives du système, et les entrées de l'interface Zelio Soft sont affichées à droite et les sorties à gauche

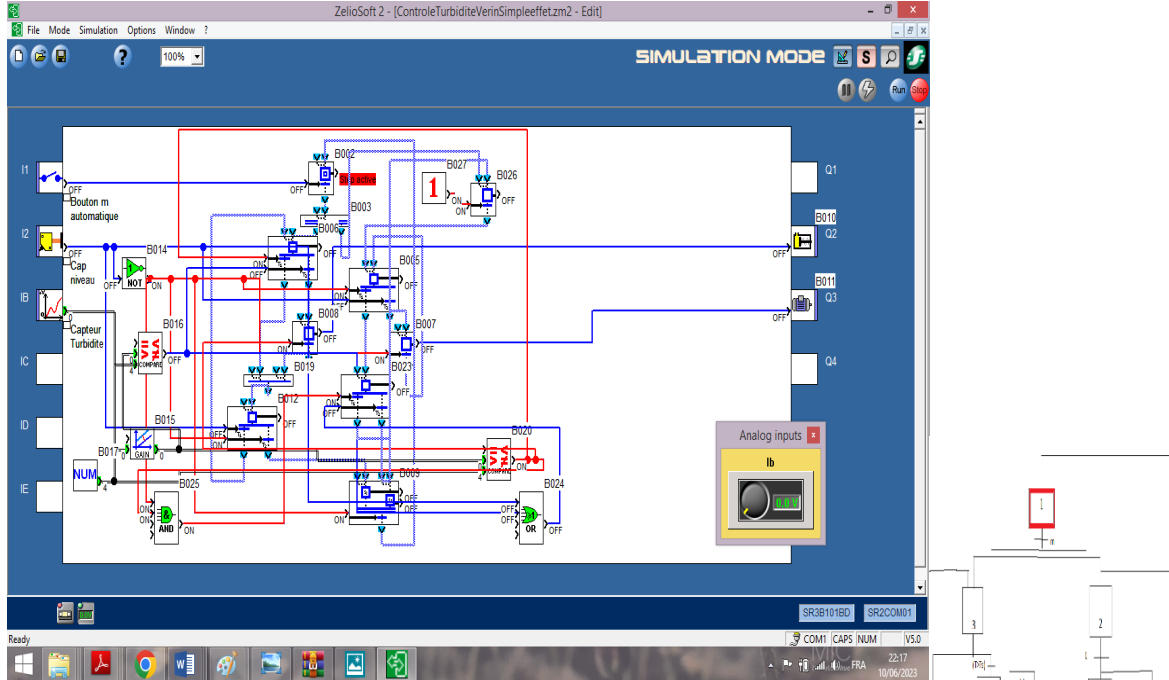


Figure III.10: Schéma de la simulation à l'étape 1 (initial))

À ce stade, le système est dans l'état initial

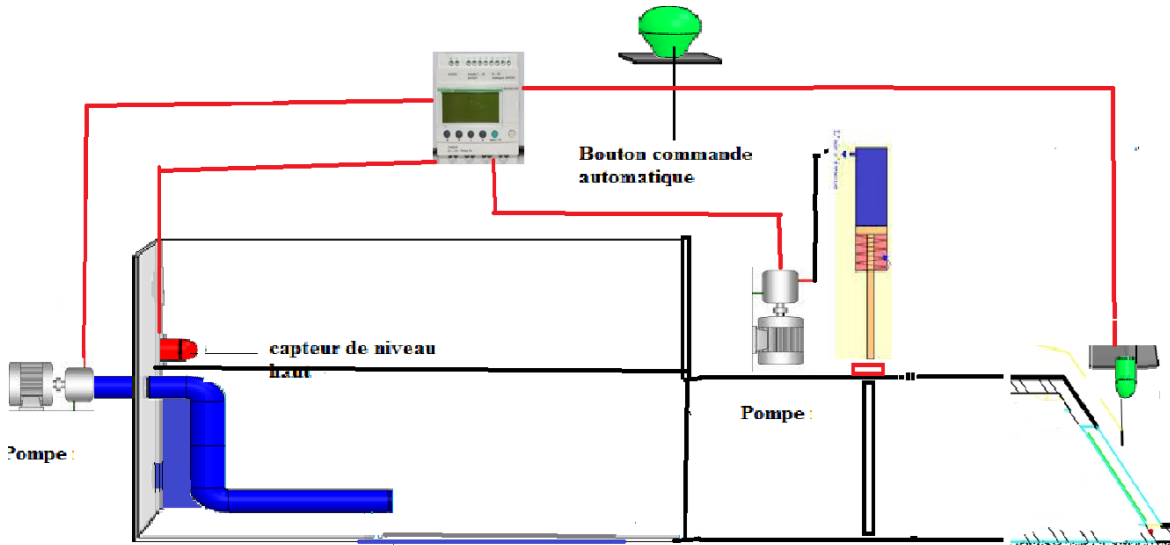


Figure III.11: système à l'étape initial vanne fermée et pompe en arrêt

**Etape 2 :** Une fois la condition de transition remplie, le rouge passe à la deuxième étape dont l'activité est illustrée dans la figure suivante :

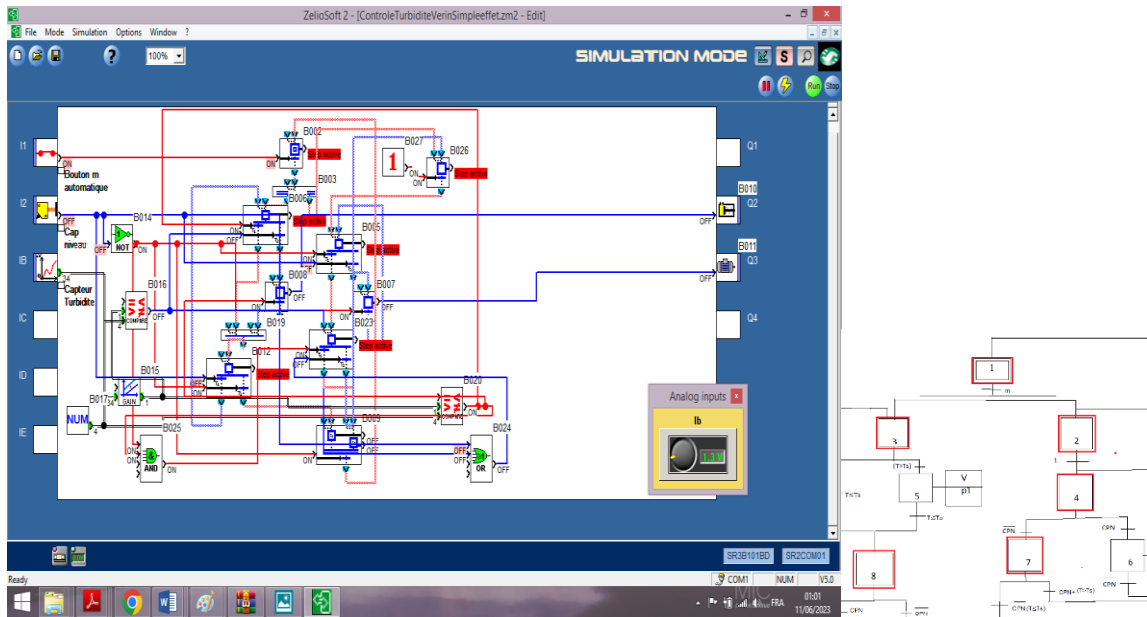


Figure III.12: Schéma de la simulation du fonctionnement du système à l'étape 2

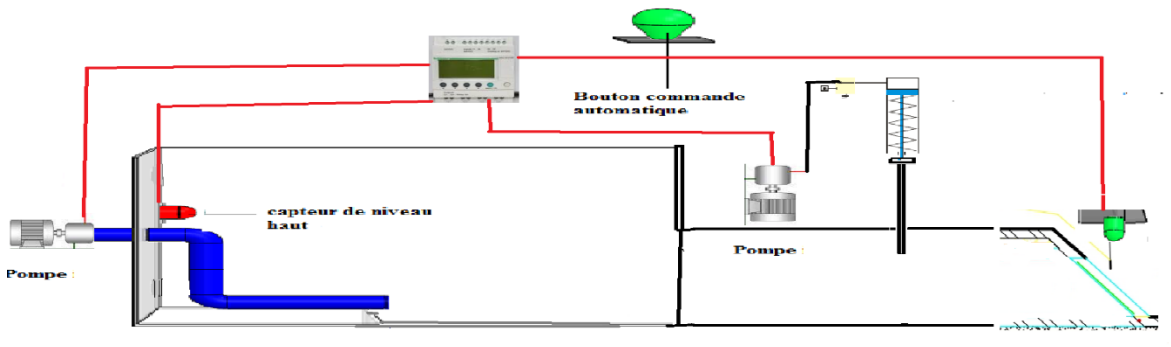


Figure III.13: Schéma représentant vanne ouverte et pompe en arrêt lorsque le système passe à l'étape 2

Etape 3 : Changement de la turbidité de l'eau et ainsi on remarque la sortie de verin

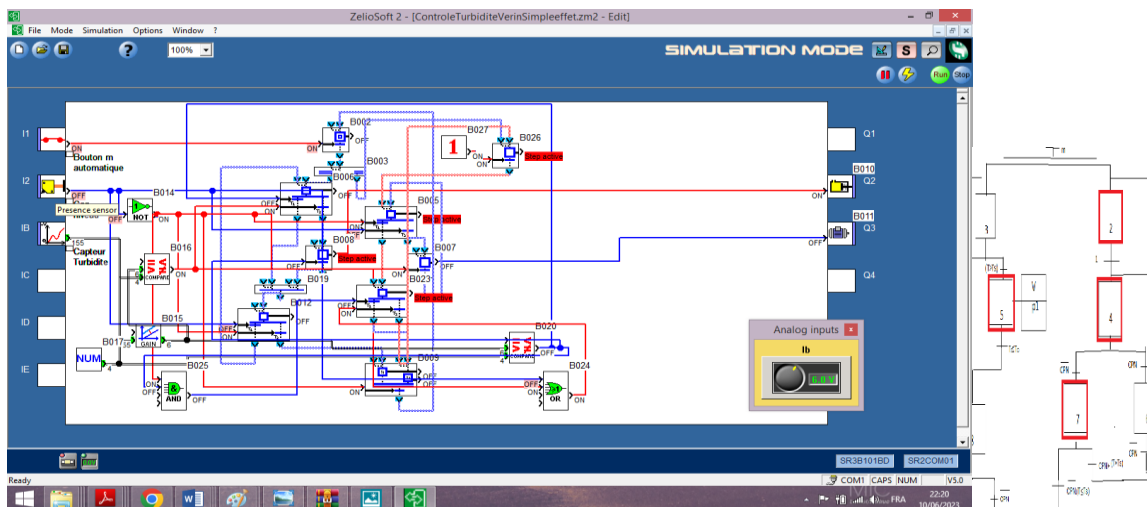


Figure III.14: Schéma de la simulation du fonctionnement du système aux étapes 2, 4, 7 et 5

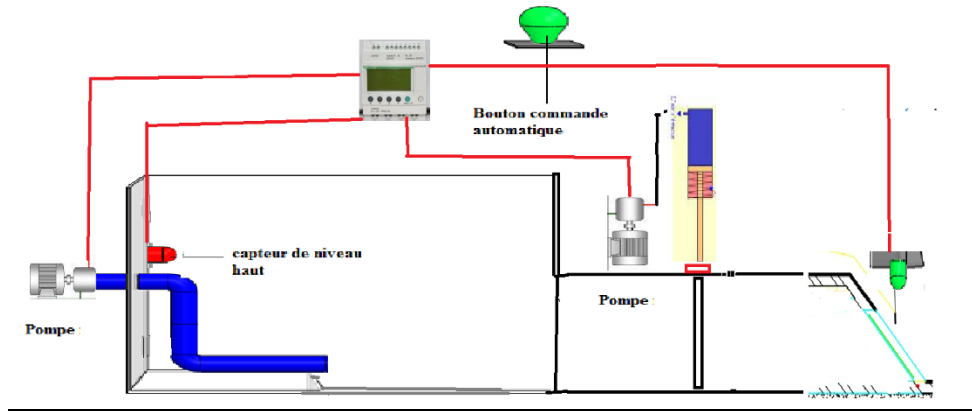


Figure III.15: Schéma représentant vanne fermée et pompe en arrêt lorsque le système passe à l'étape 5

Etape 4 : L'eau atteint le capteur de niveau et déclenche la pompe à eau

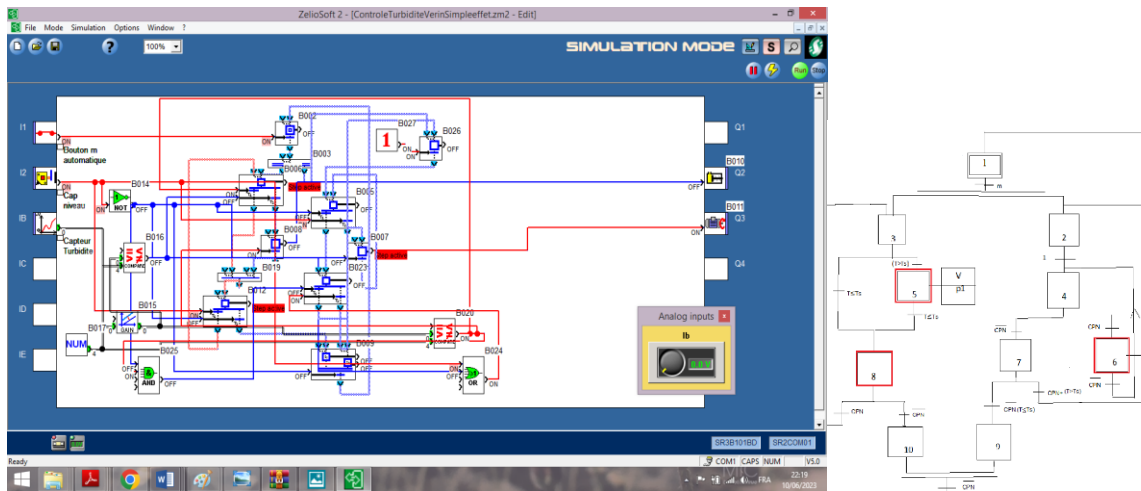


Figure III.16: Schéma de la simulation du fonctionnement du système aux étapes 6 et 8

Etapes 6 et 8 : Changement de turbidité et changement du volume d'eau à l'intérieur du lieu de stockage

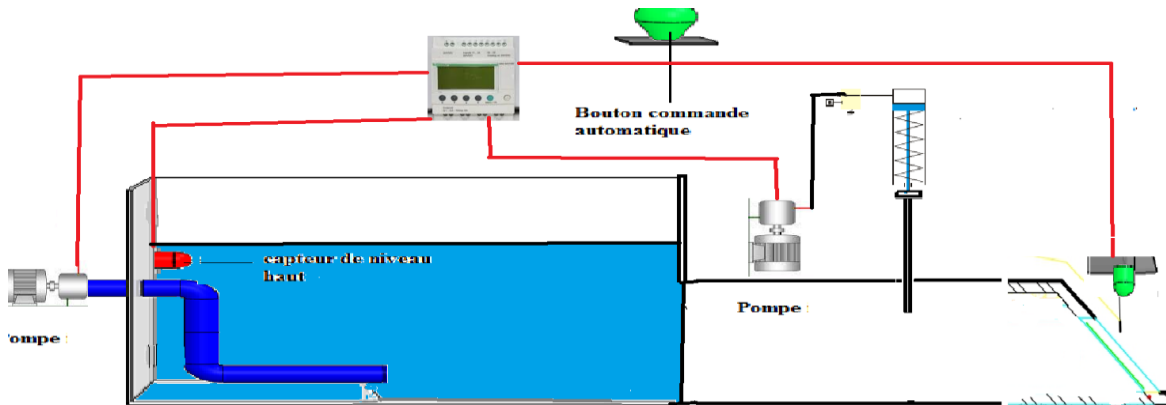


Figure III.17 : Schéma vanne ouverte et pompe en marche lorsque le système passe aux étapes 6 et 8

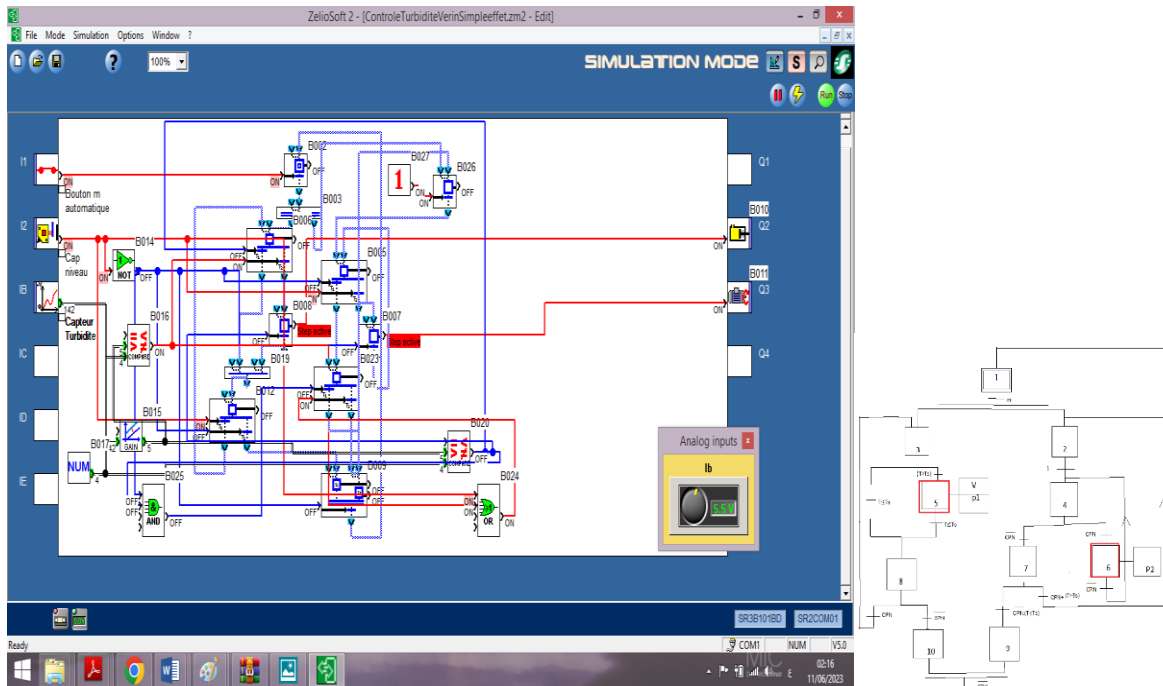


Figure III.18: Schéma de la simulation du fonctionnement du système aux étapes 5 et 6

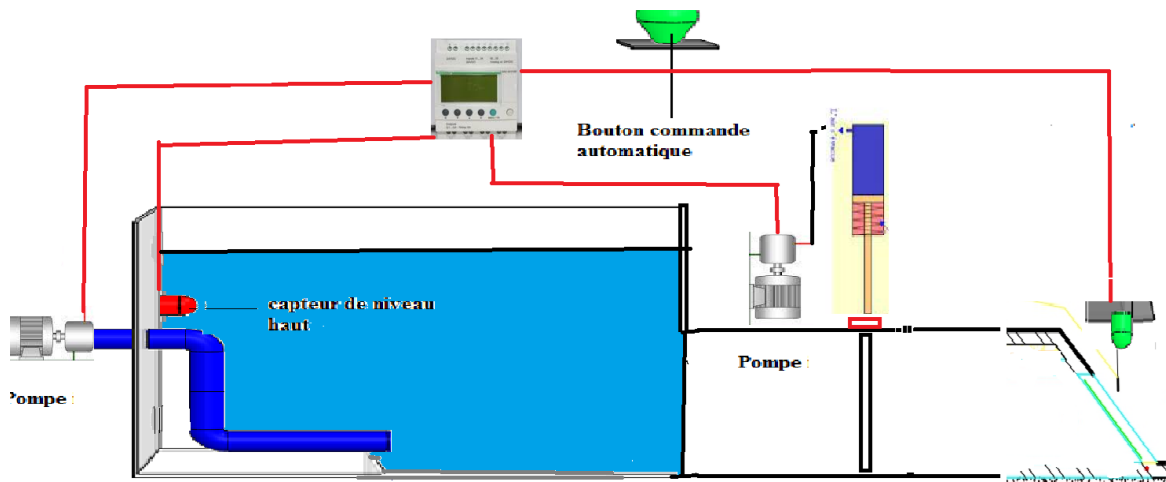


Figure III.19: Schéma vanne fermée et pompe en marche lorsque le système passe aux étapes 6 et 8

### III.4.5 Transfert du programme du PC vers l'automate

Il faut flasher en premier lieu l'automate pour pouvoir faire fonctionner le système et l'implanter a l'ouvrage de captage d'eau. Alors on doit avoir les éléments suivants et les raccordés comme c'est montré dans la figure III.20

- 1-PC de programmation.
- 2-Câble USB (SR2USB01) ou câble liaison série (SR2CBL01) (1).
- 3-Module Zelio Logic compact ou modulaire SR3B101BD

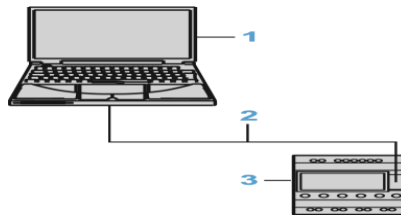


Figure III.20 : raccordement PC avec le module Zelio-logic SR3B101BD pour l'étape de flashage [14]

Par la suite faire transférer le programme au module (figure III.20):

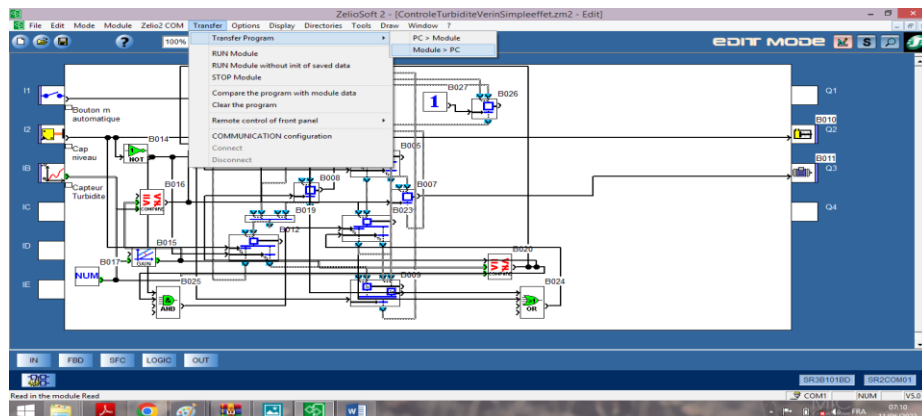


Figure III.21: Transfert du programme du PC vers le module

### Conclusion

L'objectif principal de ce travail est de proposer un système permettant la mesure et le contrôle de la turbidité de l'eau pour réduire la pression sur la station de traitement. Le développement ou la conception de ce système a été basé sur l'utilisation de l'automate zelio logic SR3B101BD et le capteur de turbidité du type JUMO ecoLine NTU. Les résultats obtenus après la simulation effectuée sur notre système proposé, justifient le bon fonctionnement du système étudié et montrent qu'il peut être utile et réalisable.

## **Conclusion générale**

L'application des automates programmables comme outil de base de commande dans n'importe quel domaine va aider à l'évolution des systèmes automatisés dans le domaine hydraulique vu la flexibilité et l'intégration facile tel que le module Zelio logic.

En outre, l'automatisation ne se limite pas aux systèmes industriels uniquement, car nous sommes des hydrauliciens, dans le domaine ouvrages hydrauliques et autres, telle que les stations de pompage, les barrages et les stations de traitement.

Dans ce projet, nous avons aménagé un système de captage d'eau en amont et imbriquer l'automate Zelio logic SR3B101BD conçu par Schneider qui contrôle et mesure la turbidité dans une armoire électrique, en mettant en œuvre selon la mesure acquise par les capteurs, l'ouverture et la fermeture automatique d'une vanne murale. Il exécute une suite d'instructions introduites dans ses mémoires sous forme de programmes en langage FBD, et s'allie par conséquent aux machines d'exécution. A cet effet on a cherché les points de mesure de turbidité qui sont parfaitement adaptés et prêts pour pouvoir activer la vanne murale à temps.

Notre projet d'un point de vue programmation sera ouvert à l'intégration de multitude outils de surveillance, de diagnostic, de reconnaissance des défauts et de la défaillance qui seront des perspectives.

Enfin, nous espérons que notre travail sera une meilleure solution à la problématique posée et servira comme base de départ aux promotions futures.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] APHA/WWA- WEF, 1998 ; US EPA, 1999; Santé Canada, 1995
- [4] Mohd Zubir, M; Bashah, N.M. A Simple Sensor for the Detection of Water Pollution, Design and Application; Project Report, Al-Mashoor School: Penang, Malaysia, 2004.
- [5] Holliday, C.P.; Rasmussen, T.C.; Miller, W.P. Establishing the Relationship between Turbidity and Total Suspended Sediment Concentration. In Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference, University of Georgia: Athens, GA, USA, April 23–24, 2003.
- [6] Ahmad Fairuz Bin Omar \* and Mohd Zubir Bin MatJafri, Turbidimeter Design and Analysis: A Review on Optical Fiber Sensors for the Measurement of Water Turbidity, *Sensors* 2009, 9, 8311-8335;
- [7] Youchao Wang, S M Shariar Morshed Rajib, Chris Collins and Bruce Grieve, Low-Cost Turbidity Sensor for Low-Power Wireless Monitoring of Fresh-Water Courses, *IEEE Sensors Journal* (2018)
- [8] <http://Turbidite/Turbidity%20sensor-Sen189data.pdf>
- [9] Notice de mise en service JUMO ecoLine NTU Capteur optique pour les mesures de turbidité
- [10] Michel BERTRAND, Techniques de l'Ingénieur. (Automates programmables industriels)
- [11] <http://bmaillard.free.fr/backup/cours/Cours/presentation/automate%20programmable.htm>
- [12] T. Leroi et S. Mertz, Capteur (d'après MIH Valentin), (MOGDON Jean-Baptiste)
- [13] Mahdi djallel, Polycopié cours Télégestion des systèmes d'AEP, (Univ m'sila)
- [14] [https://www.se.com/dz/fr/product/SR3B102BD\(Doc](https://www.se.com/dz/fr/product/SR3B102BD(Doc) Guide+zéliosoft2)
- [15] <https://planets.etsmtl.ca/public> (Martin Viens, Instrumentation et contrôle de procédés industriels Département de génie mécanique)
- [16] B. Descotes et G. J. Le Bail, L'automatique en classes préparatoires édition ellipses (1995)
- [17] Daniel DUPONT et David DUBOIS, Techniques de l'Ingénieur. (Réalisation technologique du GRAFCET, traité Informatique industrielle)
- [18] Patricia JARGOT, Techniques de l'Ingénieur (Langages de programmation pour API. Norme IEC 1131-3, traité Informatique industrielle)
- [19] : livre automatisme appliqué collection A. Capliez **D. Mérat** : professeur technique et **J.C. Bossy** : ingénieur en électronique à la télémécanique
- [20] Automatismes -Hamdi Hocine. *Chapitre 3* : Actionneur pneumatique : le vérin
-

- [21] Travail de fin d'études (*Année 2020-2021*) Développement et validation de capteurs innovants, bas-coûts et open-sources pour le suivi de la turbidité des eaux pluviales en milieu urbain
- [22] JUMO AUTOMATION; Capteur optique pour les mesures de turbidité
- [23] (APHA-AWWA-WEF, 1998; Santé Canada, 1995).
- [24] DFRobot: [SEN0189](#)
- [25] Troubleshooting Centrifugal Pumps and their systems, Copyright 2003 Elsevier Ltd. Published by Elsevier Ltd.
- [26] BERNARD, Techniques d'ingénieur (B 4320) Pompes Volumétriques pour Liquides, PARIS.
- [27] "Les Pompes", TOTAL Manuel de Formation : EXP-PR-EQ070 Révision 0.1, Dernière Révision : 13/04/2007.
- [28] BASCAL BIGOT, "Cours : Les Pompes",
- [30] Saoudi Zineddine, Mémoire de Fin d'Etudes, Automatisation d'une station de relevage des eaux usées (2020)
-