



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 02 محمد بن احمد

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي

Institut de Maintenance et Sécurité Industrielle

Département : Maintenance en électromécanique

**MÉMOIRE**

Pour l'obtention de diplôme master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance-Fiabilité-Qualité

**Thème**

« Contrôle d'un Armoire Electrique à  
Distance avec un Système de l'Industrie 4.0

Présenté et soutenu publiquement par :

- **ITAOUA Mohamed Lamine**
- **LAKDAR FOUATIH Fethi**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
ARBI MAACHIA	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	Présidente
AOUIMER YAMINA	MAA	IMSI-Univ. D'Oran2	Encadrante
TITAH MOULOU	MCB	IMSI-Univ. D'Oran2	Examineur

**Promotion 2022**

## *Remercîment*

*J'offre ma grande gratitude à Dieu qui m'a aidé à faire ce travail. J'exprime ma profonde gratitude à mes parents pour leurs encouragements, leurs soutiens et pour les sacrifices qu'ils ont enduré.*

*Je remercie mon Encadrante **AOUIMER YAMINA** pour les efforts qu'il a déployés, pour m'aider, conseiller, encourager et corriger.*

*Je voudrais remercier les membres de jury d'avoir accepté d'examiner mon travail.*

*Je remercie aussi tout le corps enseignant dans le Institut de Maintenance et Sécurité Industrielle qui a contribué à ma formation universitaire.*

*En fin, Je remercie tous ceux de près ou de loin qu'ont contribué à la réalisation de ce travail. Trouvent ici ma sincère reconnaissance.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail, à mes parents, à ma source de générosité.*

*Et de patience tout au long de ma carrière scolaire. Que Dieu vous protège, vous prêtez bonne santé et longue vie.*

*A mes frères et sœurs et sa petite famille, qui m'ont toujours indiqué la bonne voie et qui ont su m'aider.*

*Aux personnes qui m'ont accompagné durant mon cursus universitaire,*

*À mes amies pour ses encouragements Permanents, et son soutien mo*

## Sommaire

<i>Introduction Générale</i> .....	1
<b><i>Chapitre 1 Généralités sur l'Industrie</i></b>	
I.1 Introduction .....	3
I.2 Historique .....	3
I.3 Définition.....	5
I.4 Internet industriel et L'industrie 4.0 .....	6
I.4.1 Définition d'Internet Industriel.....	6
I.4.2 Les composantes de l'industriel 4.0 .....	7
I.4.3 Système cyber-physique (CPS) .....	7
I.4.4 Caractéristiques d'un CPS .....	8
1.5.3 Internet des Object (IoT).....	9
1.5.3.1 Comment fonctionne l'IoT ?.....	9
1.5.3.2 Exemples d'IoT.....	10
1.5.4 Internet des Services (IoS) .....	12
I.5.4.1 Les caractéristiques de l'IoS.....	12
I.5.5 Usine intelligente.....	13
1.5.5.1 Les caractéristiques d'une usine intelligente .....	13
a) Décentralisation.....	13
b) Optimisation .....	14
c) Transparence .....	14
I.5.5.2 Les avantages d'une Smart Factory .....	14
I.5.5.3 l'impact d'une usine intelligente.....	15
I.6 Les piliers de l'Industriel 4.0 .....	16
I.7 L'intelligence artificielle .....	17
a. Les différences .....	18
b. Le point d'intersection .....	18
I.7.1 Les complémentarités entre le Big Data et l'IA .....	18
a. Le Big Data alimente l'IA .....	18
I.7.2 L'IA appliquée au Big Data.....	19
I.7.3 Comment fonctionne l'informatique en nuage ?.....	22
I.7.4 Un outil créateur de valeur en milieu industriel .....	23
I.7.5 Demain, l'opérateur augmenté, porté par la croissance du marché grand public .....	23
I.7.6 La réalité augmentée : concepts et intérêts pour l'apprentissage .....	25

1. Wifi.....	27
2. Bluetooth .....	27
3. Infrarouge .....	27
4. NFC .....	28
5. Réseaux mobiles.....	28
Les techniques d'impression 3D.....	30
Impression 3D de maisons, d'organes, de nourriture... ..	30
Fabriquer un objet expérimental .....	30
Des techniques de plus en plus précises .....	31
L'Impression 3D comment ça marche ?.....	31
Les préparatifs.....	31
Introduisez le filament dans l'extrudeuse .....	31
L'Impression 3D à quoi ça sert ?.....	31
I.8 L'industrie et l'ingénierie .....	32
I.9 L'Algérie et l'Industriel 4.0.....	32
I.10 conclusion.....	35

### *Chapitre 2 Maintenance et diagnostic des armoires électrique*

Introduction.....	36
II .1 Définition de la maintenance.....	36
II.1.2 Concept de l'entretien .....	36
II.1.3 Types de maintenances .....	37
II.1.3.1 Maintenance corrective .....	37
II.1.3.2. Maintenance palliative .....	37
II.1.3.4 Maintenance préventive ou planifiée .....	38
II.1.3.5 Maintenance préventive systématique (périodique).....	38
II.1.3.7 Maintenance préventive conditionnelle .....	39
II.1.4. Niveaux de maintenance .....	39
1er niveau.....	39
2ème niveau .....	39
3ème niveau .....	40
4ème niveau .....	40
5ème niveau .....	40
II.1.4. Grands concepts de maintenance industrielle .....	41
II.1.4.1 La fiabilité .....	41
II.1.4.2 La maintenabilité.....	41
II.1.4.3 La disponibilité.....	41
II.1.4.4 Le diagnostic industriel dans le cadre de la supervision .....	41
II.1.5. Notion de défaillance .....	42
II.1.5.1 Classification des défaillances .....	42

## Liste Des Tableaux

---

II.1.5.2 Conséquences des défaillances : Défaits et pannes .....	43
II.1.5.3 Typologie de défauts .....	43
II.1.5.3.1 Défauts capteurs .....	44
II.1.5.3.2 Défauts actionneurs .....	44
II.1.5.3.3 Défauts composants (Défaits système) .....	44
II.1.5.4 Caractérisation de défauts .....	44
II.2. Armoire électrique industrielle.....	45
II.2.1 Armoires électriques industrielles : hygiène, conformité et sécurité .....	45
II.2.2 la composition d'une armoire électrique industrielle.....	45
II.2.3 Les normes armoire électrique industrielle .....	46
II.2.4 les composants d'une armoire électrique .....	47
II.2.4.1 Les interrupteurs différentiels .....	47
II.2.4.2 Le contacteur .....	48
II.2.4.4 Les relais .....	48
II.2.4.5 Protection différentielle.....	48
II.2.5. Tableau général basse tension TGBT .....	49
II.2.6. Dimensionner une armoire électrique .....	49
II.2.7. Fonctionne un tableau électrique .....	49
II.2.8. Le rôle d'une armoire électrique .....	49
II.2.9. Le matériau de l'armoire électrique .....	49
II.2.10. La taille d'une armoire électrique .....	50
II.2.12. Intervenir sur le tableau électrique .....	50
II.2.12.1 Vérifier son installation électrique .....	50
II.2.12.3 Choisir un testeur électrique.....	52
II. 2.12.4 Câbler une armoire électrique .....	52
II. 2.12.4.1 Fil pour alimenter un tableau électrique.....	52
II.3. L'autorisation et Habilitation .....	52
II.3.1. La formation.....	53
II.3.2. L'autorisation .....	54
II.3.3 Habilitation.....	55
II.3.3.1 L'habilitation électrique .....	55
II.4 Le schéma électrique.....	56
II.4.1 Des symboles graphiques .....	56
II.4.2 Prescriptions générales .....	57
II.4.3 Dossier technique d'un équipement électrique.....	58
II.4.4 Repérage d'un schéma .....	59
II.4.5 But d'un schéma électrique.....	59
II.4.6 Principales règles de schéma électrique et de câblage .....	59

II.4.7	Consignation / Déconsignation .....	59
II.4.8	Alimentation du coffret .....	59
II.4.9	Couleur des conducteurs .....	60
II.4.10.	Repérage des conducteurs .....	60
II.4.10.1.	Repérage équipotentiel .....	60
II.4.10.1.	Repérage dépendant du matériel .....	60
II.5	Risques électriques .....	60
II.5.1.	Des contacts .....	60
II.5.2	Des amorçages .....	60
II.6	Conclusion.....	61

### **Chapitre 3 Contrôle d'un Armoire Electrique à Distance avec un Système de l'Industrie 4.0**

III.1.	Introduction.....	64
III.2.	Notion de système automatisé .....	65
III.2.1.	Point de vue historique.....	65
III.2.2	Point de vue technique .....	65
III.2.3	Point de vue économique et social.....	66
III.3.	Définition de l'API .....	66
III.4.	Architecture d'un automate programmable .....	66
III.4.3.	Fonctions réalisées .....	71
III.5.	Nature des informations traitées par l'automate :.....	71
III.5.1.	Tout ou rien (TOR).....	71
III.5.2.	Analogique.....	71
III.5.3.	Numérique .....	71
III.6.	Langages de la programmation.....	71
III.9.	Les avantages les inconvénients .....	75
+	Avantage.....	75
+	Inconvénients.....	75
III. 10	Contrôle Armoire électrique à distance .....	75
III. 10 .1	Les tableaux électriques intelligents ‘ ‘ électrique 4.0 ‘ ‘ .....	75
Comment	avez-vous développé PrismaSeT Active ? .....	77
III 10.2	Les appareille pour control des armoires électriques.....	77
III 10.2.5	Architectures prêtes à l'emploi et blocs fonction applicative.....	80
III 10.3	Présentation.....	80

III.10.4 Communication embarquée .....	80
III.10.5 Logiciels de programmation .....	84
Simplification du flux de production de l'utilisateur .....	87
III.10.6 Interface utilisateur graphique .....	87
III.10.6.3 Propriétés de projet .....	87
III.10.7 Transparence du système .....	89
III.10.8 Cyber sécurité .....	90
III.10.8.1 Installation et offre de produits .....	90
III.10.8.1 Installation d'EcoStruxure Machine Expert .....	90
III.10.8.2 Contenu de l'offre de produits EcoStruxure Machine Expert .....	91
III.10.9 L'application industrie 4.0 sur un moteur .....	91
III.10.9.1 Démarrage direct moteur 2 sens de rotation .....	91
2) Schéma de commande .....	92
3) programmations avec langage LADER .....	93
III.11 Conclusion .....	94
<i>Conclusion Générale</i> .....	95
Références Bibliographique .....	96
[1] .....	96

### Liste Des Tableaux

Tableau II 1 Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance .....	41
Tableau III 1 tableau dessiccation.....	93

### Liste Des Figures

Figure I 1 Les quatre révolutions industrielles .....	5
Figure I 2 les Capacité de base d'un CPS .....	8
Figure II 1 Maintenance palliative .....	38
Figure II 2 Intervention préventive systématique .....	38
Figure II 3 Les différentes étapes de la supervision .....	42
Figure II 4 Différents types de défauts d'un système physique .....	43
Figure II 5 Les interrupteurs différentiels .....	47
Figure II 6 Le contacteur .....	48
Figure II 7 Les fusibles .....	48
Figure II 8 Les relais .....	48
Figure II 9 Protection différentielle .....	49
Figure II 10 Exemple d'un schéma électrique .....	57
Figure II 11 Circuit industriel de puissance .....	58
Figure III 1 API Type compact Schneider (Zelio) .....	67
Figure III 2 API type modulaire Schneider (Zelio) .....	67
Figure III 3 Structure interne de l'API .....	68
Figure III 4 Partie opérative et partie commande. ....	70
Figure III 5 Exemple Programme LD avec de liaison multiple à droite .....	72
Figure III 6 Exemple Programme FBD avec de saut et d'étiquette [66]. ....	73
Figure III 7 Exemple Programme ST [66]. ....	73
Figure III 8 Structure d'un système automatisé .....	74
Figure III 9 Tableaux électriques intelligents ‘ ‘ électrique 4.0 ‘ ‘ .....	76
Figure III 10 Tableau électrique est d'intégrer la connectivité LoRa. Schneider .....	77
Figure III 11 exemple armoire électrique .....	79
Figure III 12 control logique M221-controlleur-24-entrees-sorties-24 vcc-pnp-ethernet- serie-24vcc ‘ ‘scheider’ ‘ .....	77
Figure III 13 Contrôleur logique M221 .....	82
Figure III 14 Afficheur graphique TMH2GDB .....	83



# *Introduction Générale*

"La révolution industrielle 4.0", "l'usine 4.0" ou simplement "la révolution 4.0", tant de termes pour nommer celle qui sera à l'origine de l'usine du futur : l'industrie 4.0. La 4ème révolution industrielle a été introduite dans 2 buts essentiellement : mieux produire et produire plus intelligemment. [1]

L'automatisme à, principalement, comme objectif d'assurer les tâches répétitives, autre fois réalisée par des humains, de renforcer la sécurité, d'accroître la productivité, d'économiser les matières premières et l'énergie et de maintenir la qualité. Ces objectifs sont classés en deux catégories. [2]

Les armoires électriques sont un pilier de toute installation de machines industrielles. Utilisées à l'origine pour abriter des relais, fusibles, appareillages de commutation et simples contrôleurs, les armoires sont en train de se transformer. Avec la naissance de l'internet industriel des objets (IIoT), de l'industrie 4.0 et d'autres améliorations de l'efficacité opérationnelle, les armoires électriques sont les lieux de prédilection pour y placer tous les nouveaux composants et systèmes d'automatisation. Cela ouvre la porte à plusieurs avancées technologiques pour faire face à l'immense pression exercée pour faire entrer davantage de dispositifs de contrôle industriel dans un espace d'armoire fixe.

Les Automates Programmables Industriels (API ou PLC pour Programmable Logic Controller) sont utilisés pour gérer de manière automatique les systèmes de commande des installations électriques industrielles. Les solutions d'automatisme Schneider Electric répondent à tous les besoins, du simple convoyeur, jusqu'à la chaîne d'assemblage robotisée. [3].

Dans le premier chapitre, nous présentons une description globale Généralités sur Industrie 4.0 et la diffusion et le développement des domaines . On a présenté les étapes de l'évolution de l'industrie

Dans le deuxième chapitre nous présentons sur les Maintenance et diagnostic des armoires électriques en genral

- Quels sont les composants d'une armoire électrique industrielle
- de tableaux elctriques, Comment fonctionne une armoire électrique et Norm Reglementation
- Comment réaliser et tester et vérifier une armoire électrique
- Comment tester une armoire électrique.

→ Qui tester les installations électriques.

→ C'est quoi un TGBT.

→ différentes catégories d'habilitations électriques Quel niveau d'habilitation électrique et.

: Dans la première partie du troisième chapitre, nous présentons une description de notre

→ .programmables industriels APIs et l'architecture de système de commande correspondant

→ différents types, les caractéristiques des APIs en particulier On a également présenté les

: Dans la deuxième partie du troisième chapitre, On a présenté le cahier de charge de notre

→ un Armoire Electrique'Contrôle d.

→ dustrie 4.0In'un Armoire Electrique à Distance avec un Système de l'Contrôle d.

Nous terminons par une conclusion générale sur l'ensemble de cette étude et nous proposons

.des perspectives de travail.

---

---

# *Chapitre 1*

## *Généralités sur l'Industrie*

---

---

## I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter le concept "d'industrie 4.0" d'une manière générale en nous concentrant sur les parties qui nous intéressent le plus. Nous commençons par l'histoire du concept, puis nous définissons le terme.

## I.2 Historique

Depuis son introduction en 2011, le terme « industrie 4.0 » est devenu une tendance qui s'est et s'accroîtra probablement au cours du temps dans le domaine industriel ainsi que les recherches académiques. Le terme « industrie 4.0 » ou « l'industrie de futur » joue un rôle stratégique dans la détermination de toute l'étape des systèmes de production et service. Le « 4 », c'est pour marquer cette quatrième révolution industrielle. Les autres trois révolutions ont duré presque 200 ans. [04].

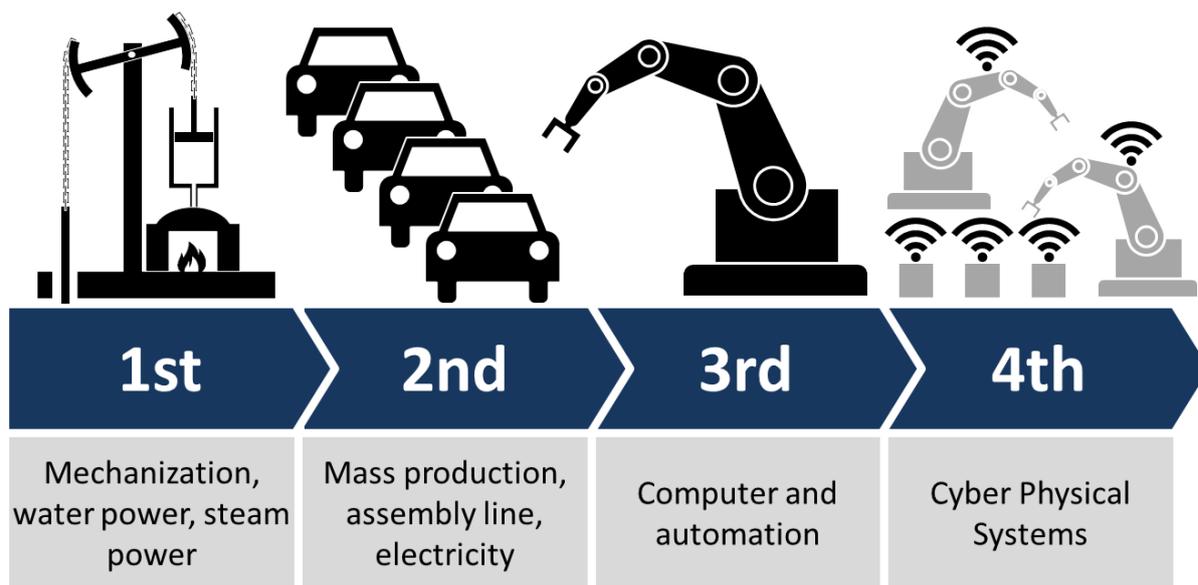
**a)** La première révolution industrielle a commencé en début XVIIIe siècle grâce à l'utilisation de la vapeur et à la mécanisation de la production. Les machines à vapeur ont remplacé les anciens systèmes, la version mécanisée a atteint huit fois le volume en même temps. Des développements tels que le bateau à vapeur ou (environ 100 ans plus tard) la locomotive à vapeur ont entraîné de nouveaux changements massifs car les humains et les marchandises pouvaient parcourir de grandes distances en moins de temps.

**b)** Deuxième révolution industrielle a commencé au XXe siècle par l'introduction de la production d'électricité et de chaînes de montage. Henry Ford (1863-1947) a pris l'idée de la production de masse dans un abattoir de Chicago, et il l'a appliquée dans l'assemblage des automobiles en la modifiant radicalement. Alors qu'auparavant une étape partielle sur le tapis roulant – beaucoup plus rapidement et à moindre coût. Ce qui a introduit la production de masse.

**c)** Troisième révolution industrielle a commencé dans les années 70 des XXe siècles par l'automatisation partielle dans les usines en utilisant les automates programmables industriels (API). Les robots. Les machines à commande numérique et les ordinateurs. Depuis l'introduction de ces technologies, nous sommes désormais en mesure d'automatiser quelque processus de production, sans assistance humaine.

Mais l'automatisation est restée toujours partielle car l'homme n'était pas capable ou n'avait pas l'intérêt d'automatiser quelque processus ou tâches, et les machines n'avaient pas la capacité d'échange d'information entre eux

d) La quatrième révolution industrielle organise des processus de production induits par les innovations liées à l'internet des objets et aux technologies du numérique, tels que la cobotique, la réalité augmentée, l'impression 3D, l'intelligence artificielle et les SaaS afin d'exploiter les données issues du Big data et de la maquette numérique. Toutes ces techniques font partie des ingrédients qui entrent dans la composition de l'Industrie 4.0. La technologie de la Radio-identification, en anglais RFID, s'impose comme la pierre angulaire dans la « Smart Product »<sup>3</sup>. Ces nouvelles technologies font émerger un concept de système cyber-physique de production, de l'anglais CPS. Cela correspond à un système autonome intégrant de l'électronique et du logiciel associés à des capteurs et dotés de capacité de communication. Un système cyber-physique interagit avec son environnement dans lequel il prend les données et les traite. Ils sont utilisés pour contrôler et piloter les processus physiques et modifient ainsi ces processus vers des fonctionnalités nouvelles. L'internet des objets et les systèmes cyber-physique forment la base de la technologie pour l'Industrie 4.0. Dans ce nouveau modèle, la coordination de ces technologies s'applique non seulement dans l'usine, mais aussi entre les usines. Le but est d'augmenter l'efficacité des processus industriels avec le moins d'intervention humaine tant au niveau de la maintenance que de la gestion des pannes et ainsi, par la flexibilité et la personnalisation, accroître la productivité en réduisant les coûts et la consommation d'énergie. L'intérêt des chercheurs, des fabricants, des développeurs d'application et des gouvernements s'intensifie au vu des perspectives de bénéfices économiques que permet la production intelligente « Smart Product ». À l'instar du gouvernement fédéral allemand qui soutient l'idée en annonçant que l'Industrie 4.0 fait partie intégrante de la stratégie 2020 des Hautes technologies pour l'Allemagne. Il vise ainsi à prendre le leadership en matière d'innovation technologique tant en Allemagne qu'au niveau de l'Europe. Un plan, adopté en 2006, est lancé depuis janvier 2011 par le groupe de communication de l'Alliance de Recherche de Science et d'industrie. Le gouvernement allemand cible prioritairement cinq secteurs : le climat et l'énergie, la santé et l'alimentation, la mobilité, et la sécurité et la communication.



**Figure I 1** Les quatre révolutions industrielles

### I.3 Définition

Le terme industrie 4.0 tire ses origines d'un projet de la stratégie high-tech du gouvernement Allemand. Il a été officiellement introduit dans le Hanover Messe en avril 2011. [04].

La vision de l'industriel 4.0 est qu'à l'avenir les entreprises vont créer de réseaux globaux pour connecter leurs machines, usines, et même leurs équipements de manutention sous forme de système Cyber-physique (CPS), ce terme auquel nous sommes confrontés à maintes reprises des lecteurs sur ce sujet, représente l'une des quatre composants principaux de l'industrie 4.0. [05].

Le terme consiste à créer des systèmes intelligents où la prise de décision est décentralisée comme des machines intelligentes, de l'usine intelligente et le point qui nous intéresse le plus des machines logistiques intelligentes. [05].

Alors que la vision de l'industrie 4.0 est plus ou moins claire, il n'existe pas une définition exacte du terme, et même un directeur de site de production du constructeur automobile Audi n'a pas pu expliquer le terme à son fils (Hermann, Tobias, & Boris 2015). En fait, une étude en 2014 affirme que la plupart des entreprises en Allemagne n'avaient pas une compréhension claire de ce qu'est l'industrie 4.0 ou même à ce qu'elle ressemble.

Plus simplement, on peut définir l'industrie 4.0 comme une combinaison de plusieurs technologies physiques et numériques dans le domaine industriel telles que l'intelligence

artificielle, la robotique adaptative, la réalité augmentée, la fabrication additive et l'Internet des objets (IoT), dans une nouvelle manière plus coordonnée.

Dans d'autres parties du monde, des projets similaires ont été comme « Smart Factory » dans la Hollande, « Usine de futur » en France « High value manufacturing Catapult » en Royaume-Uni, « Fabbriadel Futuro » en Italie, « made in china 2025 » et « Internet plus » dans la Chine et terme qu'est devenu aussi-ou même plus-célèbre que l'industrie 4.0, c'est « l'Internet industriel » ou « l'Internet Industriel des objets IIoT ». Ce terme crée par la société General Electric avant qu'elle soit rejoint par AT&T, CISCO, Intel de IBL en 2014, en forant l'IIC (the industriel internet consortium) (MAPI Foundation S.D). Ce groupe comporte aujourd'hui 258 membres. [06]

#### **I.4 Internet industriel et L'industrie 4.0**

Est-ce qu'on peut utiliser les deux termes d'une manière interchangeable ? Non, on ne peut pas. Bien que les deux peuvent sembler proches, en y regardant de plus près, les deux approches sont radicalement différentes, certaines différences étant moins visibles à l'œil nu.

Tandis que l'industriel 4.0 décrit une chaîne de production décentralisée qui s'étend du design conceptuel jusqu'à la mise à l'arrêt ou l'élimination du produit ou du service, en passant par la distribution, la production... etc.

L'Internet industriel englobe à peu près les mêmes processus, sauf que l'horizon d'application s'étend au-delà de la fabrication et dépasse même le domaine industriel.

##### **I.4.1 Définition d'Internet Industriel**

En générale, on peut définir l'Internet Industriel comme la combinaison de plusieurs technologie clés afin de produire un système plus performant que la somme de ses parties. [07].

Une définition plus précise du (ge.com,2016) :

‘... Une source à la fois d'efficacité opérationnelle et d'innovation qui est le résultat d'une recette fascinante de développements technologiques. La somme de ces éléments donne l'Internet industriel – l'intégration étroite des mondes physique et numérique. L'Internet industriel permet aux entreprises d'utiliser des capteurs, des logiciels, l'apprentissage de machines à machine et d'autres technologies pour recueillir et analyser des données provenant d'objets physiques ou d'autres grands flux de données, puis d'utiliser ces analyses pour gérer les opérations et, dans certains cas, pour offrir de nouveaux services à valeur ajoutée’.

Un exemple de l'utilisation de l'internet industriel au-delà du secteur industriel : en raison de la pandémie actuelle de virus corona, le marché des robots de télé présence médicale qui est une technologie d'internet industriel est en plein essor dans le monde entier, puisque le monde arrive à voir maintenant l'utilité des robots pour aider à gérer une telle crise.

Un autre exemple toujours dans le domaine médical, qui est utilisé beaucoup après la pandémie, même si certaines entreprises y ont déjà en appel, comme *Guy's and St. Thomas's National Health Service Foundation Trust* au Royaume-Uni, est celui des Smartphones. Le dispositif du patient ne comprend pas juste un Smartphone mais aussi des balances, un saturomètre et un brassard de tensiomètre. L'idée est que les patients prennent quotidiennement des mesures de leur poids, de leur rythme cardiaque, de leur pression artérielle et de leur niveau d'oxygène, puis envoient les données au Smartphone via Bluetooth pour qu'elles soient transmises au service de télésanté de BT. Cela permet aux entreprises de santé d'être toujours informées et d'intervenir en cas de besoin. [07].

#### **I.4.2 Les composantes de l'industriel 4.0**

Popularisée par les médias, l'appellation industrie 4.0 est un concept qui a pour ambition d'augmenter la productivité des entreprises qui l'intègrent dans leur fonctionnement. Cette industrie future se place au cœur de la production et permet d'y apporter des améliorations significatives.

#### **I.4.3 Système cyber-physique (CPS)**

La première définition que l'on peut trouver de système cyber-physique (CPS) date de 2006, lors de travaux avec la National Science Foundation (NSF) américaine. Les CPS intègrent des process physiques et computationnels. Des ordinateurs et réseaux embarqués surveillent et contrôlent les process physiques, généralement avec des boucles de rétroaction où les process physiques affectent les calculs et vice versa. En d'autres mots, les CPS utilisent des computations et d'a communication profondément intégrée et interagissant avec les process physiques afin de produire de nouvelle capacité du système. Un CPS peut être considéré aussi bien à une petite échelle (e.g. pace maker) qu'à de grandes échelles (un réseau national de distribution d'énergie).

Au fur et à mesure des années, les définitions se sont affinées et désormais convergent.

Les CPS sont des systèmes formés d'entités collaboratives, dotées de capacité de calcul, qui sont en connexion intensive avec le mode physique environnant les phénomènes s'y déroulant, fournissant et utilisant à la fois les services de mise à disposition et de traitement de données disponibles sur le réseau. [08].

#### 1.4.4 Caractéristiques d'un CPS

- Haut niveau d'**intégration** physique/cyber.
- Capacités de **traitement** dans chaque composant physique, dû au fait que les ressources en traitement et communication sont généralement limitées.
- Hautement **connectés**, via réseaux avec ou sans fil, Bluetooth, GSM, GPS etc.
- Adapté à des échelles temporelles et spatiales multiples.
- Capable de **reconfiguration/réorganisation** dynamique.
- Hautement **automatisés**, en boucles fermées.
- **Fiables**, voire certifiés dans certains cas. [09].

#### 1.4.5 Classification des CPS

- **C1** : Au niveau **Connexion**, le CPS opère sur un réseaux Plug&Play et utilise des données envoyées par un réseau de capteurs.
- **C2** : Au niveau **Conversion**, le CPS sait traiter l'information et la retranscrire en informations de plus haut niveau.
- **C3** : Au niveau **Cyber**, le CPS a une connaissance des autres CPS de l'environnement et peut interagir avec eux pour enrichir son propre traitement d'information.

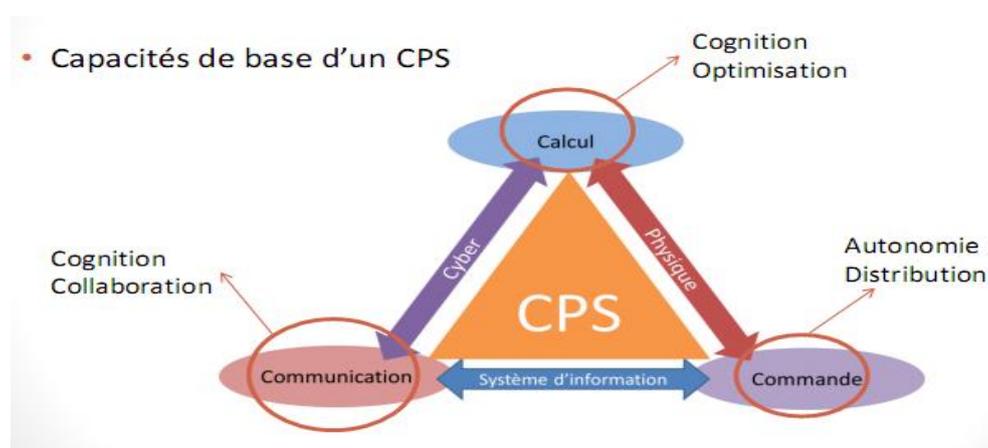


Figure I 2 les Capacité de base d'un CPS

• **C4** : Au niveau **Cognition**, le CPS est capable d'établir un diagnostic basé sur des simulations de son propre comportement et une analyse différentielle des données de capteurs.

• **C5** : Au niveau **Configuration**, le CPS peut s'adapter seul en cas de défaillance, se reconfigurer ou ajuster de manière autonome ses paramètres afin de retourner à un comportement nominal. [10].

### 1.5.3 Internet des Object (IoT)

L'Internet des objets (ou IoT pour Internet of Things) désigne à la fois le processus de connexion d'objets physiques à Internet et le réseau qui relie ces objets.

Par « objets », on entend aussi bien des appareils de la vie quotidienne (domotique, montre de fitness, etc.) que des appareillages médicaux, des machines agricoles, des chaînes d'approvisionnement, des robots industriels ou des feux de circulation routière

En définitive, l'IoT relie tout élément capable de transférer des données sur un réseau. Et ce, sans nécessiter d'interactions entre humains ou entre un humain et un ordinateur. Cependant, l'interaction personne-machine est rendue possible, ne serait-ce que pour procéder au paramétrage, à la configuration ou simplement pour accéder aux informations. [11].

#### 1.5.3.1 Comment fonctionne l'IoT ?

Un écosystème IoT est composé d'objets compatibles avec le Web ou utilisant des systèmes informatiques embarqués.

Un objet connecté à l'IoT est capable de collecter des données sur son environnement via des capteurs. Il exploite ensuite ces dernières via des processeurs avant de les envoyer à un ou plusieurs destinataires à l'aide de son matériel de communication intégré.

Il partage les données collectées par le biais d'une passerelle IoT. Il s'agit d'une solution permettant la communication entre appareils ou entre ceux-ci et le cloud. Les informations sont donc transférées directement vers le cloud à des fins d'analyse et d'exploitation ou à un autre appareil IoT pour une analyse locale.

Voici un exemple parlant pour illustrer ces propos. Lorsque vous approchez de votre habitation dans votre voiture connectée, celle-ci envoie vos informations de géolocalisation au thermostat du système de chauffage de la maison. En analysant ces données, ce dernier est à même de régler en votre absence la température intérieure de n'importe quelle pièce selon le

paramétrage établi au préalable. L'intervention humaine n'a donc lieu qu'au moment de la configuration, l'Internet des objets faisant le reste.

Bien entendu, les données récoltées sont exploitables en temps réel comme sur le long terme. In fine, les analyses peuvent être effectuées par des humains comme par une intelligence artificielle (IA) disposant d'un système d'apprentissage automatique.

Ainsi, le système IoT d'une maison connectée agit en temps réel pour déterminer le moment idéal du réglage du chauffage. Il peut également s'appuyer sur des données collectées par la voiture sur une longue période. De plus, toutes les données IoT récoltées jour après jour par tous les thermostats connectés représentent une immense source de renseignements pour l'entreprise fournissant l'énergie. Elle peut en effet les analyser à des fins d'amélioration de ses services. [11].

### **I.5.3.2 Exemples d'IoT**

#### **a. IoT grand public**

De plus en plus d'appareils ménagers et d'objets domestiques sont dotés de capteurs et de systèmes de connexion dans le but d'améliorer le confort ou la sécurité (grille-pain connecté, bouteille de vin disposant d'un écran tactile et compatible avec le WiFi, etc.). Comme il est techniquement possible d'ajouter des capteurs IoT à pratiquement n'importe quel objet du quotidien, l'IoT grand public couvre un très grand nombre d'utilisations. Par exemple :

- ♣ Les maisons intelligentes équipées de thermostats et de chaudières connectées, de systèmes d'éclairage intelligents et d'appareils électroniques connectés contrôlables à distance via un smartphone ou un ordinateur (ex. prises intelligentes, capteurs de mouvements, mangeoires pour animaux, home cinéma, machines à laver, vidéosurveillance, serrures, etc.)
- ♣ Les voitures connectées améliorent le confort de conduite ainsi que la sécurité : climatisation, contrôle de vitesse, surveillance de la batterie et de la pression des pneus, emplacement du véhicule, ouverture automatique de la porte de garage ou du portail
- ♣ Les appareils portables de santé ou de sport : capteur implantable, pompe à insuline, glucomètre, cardiofréquence-mètre, podomètre, compteur de calories, traceur GPS, etc.
- ♣ À travers une application IoT, tous ces appareils peuvent fonctionner ensemble de manière harmonieuse et faciliter la vie quotidienne de leurs utilisateurs.

#### **b) IoT d'entreprise et IoT industriel (IIoT)**

l'Internet des objets se démocratise dans tous les secteurs d'activité : production, transport, vente au détail, santé, agriculture, infrastructure, domotique, services publics, etc.

Dans le secteur de la santé par exemple, l'IoT a de nombreuses applications :

- Surveillance fine des patients via une analyse en continu des données générées par des implants ou des capteurs ;
- Gestion des stocks de produits et instruments et maintenance des appareils à l'hôpital ;
- Suivi des signes vitaux des pompiers en intervention ou des ouvriers sur des sites à haut risque ;
- En cas d'urgence, calculs d'itinéraires optimisant le temps d'intervention des premiers secours, etc.

Dans le domaine de la sécurité, l'Internet des objets apporte de nombreuses solutions aux problématiques du contrôle d'accès et de l'authentification :

- Capteurs connectés contrôlant l'entrée et la sortie des employés via un smartphone ;
- Capteurs sur les machines-outils renforçant la sécurité au travail ;
- Systèmes améliorant la sécurité des biens et des personnes dans les commerces ;
- Détection des incendies, etc.

Dans le domaine de la fourniture de biens, les chaînes d'approvisionnement sont suivies et optimisées grâce aux capteurs et analyses IoT. Grâce au contrôle précis de la disponibilité d'une marchandise directement chez le consommateur et dans les entrepôts du fournisseur, le tout en s'appuyant sur les commandes en cours, un système IoT peut automatiquement déterminer l'opération de livraison la plus pratique pour les deux parties. En parallèle, le besoin de main-d'œuvre est optimisé, ce qui débouche sur une minimisation des coûts pour l'entreprise.

De manière générale, l'IoT permet d'améliorer la production, de réduire les temps d'immobilisation non planifiés des outils et des matières premières et d'augmenter la sécurité de très nombreux outils ou systèmes. Tous les secteurs industriels peuvent en bénéficier, avec des applications aussi diverses que la récupération des fibres dans l'industrie de transformation du bois ou le contrôle des foreuses sur une plateforme pétrolière.

La « ville intelligente », bardée de capteurs et d'applications IoT, constitue un parfait écosystème de l'Internet des objets : contrôle des émissions pour réduire la pollution de l'air, surveillance et contrôle du trafic des véhicules, économies d'énergie, etc. Elle comporte ainsi

de multiples appareils et système dits intelligents, allant du simple lampadaire à l'optimisation du trafic urbain, en passant par la vidéosurveillance ou la cartographie des émissions sonores.

Enfin, dans le secteur agricole, des systèmes utilisant l'IoT participent à la surveillance des champs et des serres de culture : luminosité, température, humidité de l'air et du sol, composition des sols, prévisions météorologiques, surveillance de la localisation et de la santé du bétail, etc. L'agriculture et l'élevage « intelligents » bénéficient également des ressources de l'IoT dans l'automatisation des systèmes d'irrigation des sols et d'alimentation du bétail.

En résumé, les possibilités d'application de l'Internet des objets sont quasiment infinies. [11]

#### **I.5.4 Internet des Services (IoS)**

L'IoS permet aux "fournisseur de services d'offrir leur service via l'Internet ". L'IoS se compose de participants, d'une infrastructure pour les services de business models et des services eux-mêmes. [05]

L'idée de l'IoS a été implémentée dans un projet nommé SMART FACE dans le cadre du programme "Autonomie pour l'Industrie 4.0" initié par le ministère fédéral allemand des affaires économiques et de l'énergie. Il développe une nouvelle gestion de production distribuée pour l'industriel automobile. Le projet est basé sur une architecture orientée services. Cela permet l'utilisation de stations d'assemblage modulaires qui peuvent être modifiées ou étendues de manière flexible. Le transport entre les stations d'assemblage est assuré par des véhicules guidés automatisés (AGV). Les stations d'assemblage et les AGV offrent tous deux leurs services via l'IoS. Les carrosseries des véhicules savent quelle est la configuration spécifique du client et peuvent décider de manière autonome les étapes de travail nécessaires par l'IoS et naviguer de manière autonome dans la production. [05].

##### **I.5.4.1 Les caractéristiques de l'IoS**

###### **a) Infrastructure sur demande**

Les infrastructures sont disponibles à la demande pour répondre aux besoins d'affaires.

###### **b) Transparence de la gestion des services**

Les indicateurs Web concernant la gestion et l'opérationnalisation des infrastructures sont disponibles aux utilisateurs

###### **c) Mesure du niveau de service**

La qualité des services délivrés est mesurée et surveillée par le fournisseur dans le but d'atteindre le niveau de service attendu

#### **d) Modèle consommateur-fournisseur**

Le fournisseur offre aux consommateurs les services d'infrastructure clés en main pour répondre aux besoins d'affaires

### **I.5.5 Usine intelligente**

Les Usines Intelligentes ou Smart Factory sont des usines qui mettent l'accent sur l'optimisation et l'adaptation d'une nature complexe. Grâce à l'interconnexion permise par l'internet des objets (IoT) et d'autres systèmes cyber-physiques, et dans un souci d'efficacité, les usines intelligentes peuvent s'intégrer au reste de la chaîne d'approvisionnement, permettant ainsi de modifier et d'améliorer les processus en temps réel.

En pratique, le plus grand atout d'une usine intelligente est son intégration à l'intelligence artificielle (IA). Ce n'est pas parce que quelque chose est automatisé qu'il a la capacité de prendre des décisions complexes, en particulier celles qui peuvent modifier radicalement une entreprise et ses processus.

Avec l'IA (Intelligence Artificielle), non seulement vous disposez de tels pouvoirs de décision, mais vous bénéficiez d'une autocorrection et d'une amélioration constantes. Les usines intelligentes ne sont pas à craindre, au contraire, ses caractéristiques, ses avantages et son impact global devraient convaincre tout le monde de le mettre en œuvre. [12].

#### **1.5.5.1 Les caractéristiques d'une usine intelligente**

La mise en œuvre de processus intelligents en usine a révolutionné l'industrie manufacturière. En fait, de nombreux fabricants traditionnels et leaders industriels ont vu dans l'industrie 4.0, les usines intelligentes et leurs caractéristiques inhérentes la solution à plusieurs problèmes endémiques à leur secteur d'activité. Par exemple, la décentralisation, l'optimisation et la transparence jouent toutes un rôle nécessaire.

##### **a) Décentralisation**

La décentralisation, quel que soit le contexte, repose en grande partie sur la fiabilité à tous les niveaux, afin de garantir le maintien de l'efficacité et de la prise de décision globale sans surveillance de la part des gestionnaires. Il en va de même pour les usines intelligentes, qui

nécessitent peu d'intervention manuelle et sont capables d'optimiser et d'ajuster leurs processus grâce à la seule automatisation.

**b) Optimisation**

Grâce à une optimisation adéquate, les usines intelligentes tirent parti de leur automatisation décentralisée et transparente pour devenir plus flexibles et dynamiques. De cette façon, l'usine intelligente pourra non seulement s'adapter facilement, mais aussi prendre des mesures contre les anomalies avant qu'elles ne deviennent une menace pour l'ensemble de l'infrastructure.

**c) Transparence**

Dans le cas des usines intelligentes, la transparence fait référence à la disponibilité de données pertinentes tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Avec des informations facilement accessibles à tous, les processus automatisés et la gestion humaine pourront prendre note des tendances, prendre des décisions plus précises ou détecter les erreurs avant qu'elles ne se produisent.

### **1.5.5.2 Les avantages d'une Smart Factory**

De par leur nature même, les usines intelligentes se traduisent par un processus de production optimisé, décentralisé et transparent, tant pour l'usine elle-même que pour la chaîne d'approvisionnement au sens large. Cependant, de nombreuses entreprises se concentrent sur les avantages tangibles, au-delà des caractéristiques générales. À cette fin, les avantages d'une usine intelligente englobent une plus grande efficacité, qualité et durabilité de la production

**a) Efficacité**

L'auto-adaptations et son effet sur l'efficacité constituent le principal avantage de l'usine intelligente. Une usine intelligente efficace, lorsqu'elle sera pleinement opérationnelle, aura un accès permanent à un flux de données en constante évolution. De cette manière, une usine intelligente analysera et s'autocorrigera en permanence pour rendre le processus de production et sa production aussi efficaces que possible.

**b) Qualité**

Grâce à la capacité de l'usine intelligente à détecter et à résoudre les problèmes de production avant qu'ils ne deviennent des perturbations, votre production n'est jamais affectée. Par conséquent, la qualité du produit final de toute usine intelligente sera supérieure à celle des

produits fabriqués par des moyens non automatisés, qui génèrent parfois des produits défectueux.

### **c) Production durable**

Dans les usines et les espaces de fabrication traditionnels, les perturbations sont connues pour se produire à l'occasion, qu'elles soient dues à des facteurs liés au travail, à l'environnement ou à des accidents. L'adaptabilité et les processus d'autocorrection qui accompagnent les usines intelligentes éliminent la possibilité d'une erreur humaine. L'automatisation peut donc conduire à une plus grande sécurité et assurer la durabilité de la production.

### **d) Temps de fabrication plus courts**

Grâce à une utilisation optimale des postes de production, le temps de fabrication d'un produit est considérablement réduit. Parallèlement, les entreprises peuvent obtenir un rendement plus élevé à moindre coût. Le site permet également de Ingénierie numérique joue un rôle important dans la réduction des temps de fabrication.[13].

### **E) Une plus grande agilité**

Le lien avec les systèmes de fournisseurs, de logistique et de vente permet à la production d'être informée à l'avance des changements à venir en matière de demande ou de livraison, et d'adapter la production en conséquence. [13].

#### **I.5.5.3 l'impact d'une usine intelligente**

Les usines intelligentes n'existent pas simplement dans un vide. Si leurs caractéristiques et avantages ont modifié les processus de production dans les usines du monde entier, leur impact est bien plus large. Quel effet cette nouvelle révolution industrielle a-t-elle sur la main-d'œuvre, la chaîne d'approvisionnement et la sécurité ? La réponse pourrait vous surprendre

#### **a) Perturbation de la main-d'œuvre**

Les processus d'une industrie ne peuvent pas subir une telle révolution sans affecter le travailleur d'une manière ou d'une autre. Comme lors des précédentes révolutions industrielles, le rôle de la main-d'œuvre humaine a changé. D'une manière générale, les travailleurs passeront du travail physique au soutien technologique, ce qui nécessitera un ensemble de compétence plus technique.

#### **b) Adaptation de la chaîne d'approvisionnement**

Dans l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, de la fabrication au contrôle de la qualité et à la gestion des entrepôts, l'essor des usines intelligentes a forcé une adaptation à tous les niveaux. Comme les processus d'automatisation et d'autocorrection d'une usine intelligente

fonctionnent 24 heures sur 24, le reste de la chaîne d'approvisionnement doit maintenir le même niveau de flexibilité.

**c) Question de sécurité**

À l'ère du numérique, l'information est devenue plus accessible que jamais, mais au détriment de la sécurité. La protection des données est rapidement devenue une industrie à part entière, de nombreuses entités cherchant à protéger leurs informations. Les usines intelligentes ne sont pas intrinsèquement exemptes de ce problème, mais elles ont incité de nombreuses entreprises à donner la priorité à la recherche d'une solution.

## **I.6 Les piliers de l'Industriel 4.0**

Il convient d'être accompagnés par des experts qui aideront les PME sur leur chemin vers l'Industrie 4.0 et rendre réelle la Digital Smart Factory. Voyons ensemble les 9 piliers de l'Industrie 4.0 détaillés par le cabinet de consultants Boston Consulting Group qui permettront d'améliorer notre usine de découpe du métal :

**a) Maintenant**

Comme nous l'avons déjà dit, le monde a commencé à parler de l'industriel 4.0 en 2011 parce qu'il a vu que le développement des technologies se poursuivait et que la plupart de ces technologies ont atteint le niveau 'suffisamment mûre'. Mais ce n'est pas la seule raison.

Ainsi, pour comprendre les autres raisons pour lesquelles Industrie 4.0 existe aujourd'hui, alors que ses technologies existent depuis un certain temps, nous devons examiner les capacités et les inefficacités des systèmes existants.

L'une des hypothèses proposées est que la complexité des systèmes industriels a dépassé la capacité de l'opérateur humain à identifier et à réaliser les gains d'efficacité, ce qui rend plus difficile d'apporter des améliorations dans leur sens traditionnel. [07].

Un autre toujours par, ce qui explique un peu ce que nous voulons dire par 'maturité technologique', est la chute des coûts du calcul, de la bande passante, du stockage et des capteurs. [07].

En fin de compte, nous pouvons dire que les technologies existent depuis un certain temps et ont été adoptées par les informaticiens. L'adaptation du nuage informatique et le SaaS est un excellent exemple. Toutefois, ce n'est que récemment que les dirigeants d'entreprises industrielles ont pu voir la stabilité et la maturité des solutions, des outils et des applications

dans ces secteurs informatiques, qui ont atteint un niveau de confiance et ont atténué les inquiétudes. [07].

### **b) Big Data et Intelligence Artificielle**

Nous sommes actuellement entrés dans le monde de l'industrie 4.0. Cette quatrième révolution industrielle fait référence à la numérisation des processus de production dans les entreprises, ainsi que d'autres activités. Et au cœur de cette révolution se trouvent l'IA et le Big Data.

#### **I.6.1 Les mégadonnées ou le Big Data**

Le Big Data ou mégadonnées correspond à des quantités massives de données générées par plusieurs sources. Le concept de Big Data implique à la fois le stockage, le traitement et l'analyse de ces grands volumes de données pour en tirer parti.

Il peut donc provenir de différents secteurs et sa nature peut être très diversifiée. Par exemple, le Big Data peut inclure des fichiers multimédias (photos, vidéos, textes), des fichiers journaux ou des informations transactionnelles. En outre, les données peuvent provenir des réseaux, des médias sociaux, des appareils connectés, etc.

Généralement, les mégadonnées sont générées en temps réel et à grande échelle, ce qui explique son aspect volumineux

#### **I.7 L'intelligence artificielle**

Par définition, l'intelligence artificielle ou IA consiste à imiter l'intelligence humaine à l'aide d'un programme informatique. En d'autres termes, il s'agit d'un domaine technologique dans lequel les chercheurs développent des solutions permettant aux ordinateurs de résoudre un problème à la manière d'un humain.

Pour y parvenir, les machines se basent sur des données étiquetées qui leur permettent d'apprendre. En analysant ces informations et en identifiant leurs corrélations, les systèmes d'IA peuvent ensuite entreprendre des actions intelligentes. Nous pouvons par exemple citer l'analyse prédictive qui permet aux entreprises de faire des prévisions sur le futur. D'autre part, les agents conversationnels sont des programmes informatiques capables de converser dans le langage naturel.

**a. Les différences**

Le Big Data fait référence à des données nécessitant un traitement en plusieurs étapes. En effet, exploiter les mégadonnées implique la planification, l'identification des sources, le stockage et la gestion des informations, l'analyse et la prise de décision

De son côté, l'intelligence artificielle est un programme informatique qui effectue des tâches cognitives en se basant sur des données. À la différence des applications traditionnelles, les programmes intelligents peuvent modifier leur comportement afin d'aboutir au résultat attendu.

En somme, le Big Data désigne une entrée brute tandis que l'IA désigne une sortie résultante d'un traitement de données. Autrement dit, ce sont deux choses complètement différentes.

Par ailleurs, le Big Data consiste à traiter des données pour en extraire des informations significatives. Cela inclut, par exemple, l'étiquetage des données ou l'identification des relations entre les modèles. Pour sa part, l'IA ne se contente pas d'extraire des informations. Elle les interprète pour ensuite agir en conséquence. En d'autres termes, le Big Data vise à obtenir des informations et l'IA prend des décisions.

**b. Le point d'intersection**

Force est de constater qu'il existe un point commun entre les deux technologies : les données. Bien que leurs objectifs soient assez différents, l'IA et le Big Data tournent tous deux autour du traitement des données

**I.7.1 Les complémentarités entre le Big Data et l'IA**

Non seulement l'intelligence artificielle et le Big Data ont un point en commun mais ils se complètent aussi mutuellement. L'IA s'alimente du Big Data pour accéder à une plus grande quantité de données tandis que les mégadonnées s'appuient sur l'intelligence artificielle pour obtenir des informations plus pertinentes.

**a. Le Big Data alimente l'IA**

L'aspect intelligent de l'IA est fondé sur les données. Cela signifie que plus elle dispose de données d'apprentissage, plus elle devient intelligente. De plus, avec l'évolution constante de la technologie, un système d'IA doit être capable de résoudre ses tâches dans les meilleurs délais. Par conséquent, il est primordial d'obtenir des informations en temps réel pour que le

programme soit efficace en toute circonstance. Entre autres, de la quantité et de la qualité des données dépendent la précision et l'efficacité des résultats.

Pour surmonter ce défi de l'IA, le Big Data offre la solution idéale. Connus comme les 3V, les aspects qui caractérisent les mégadonnées sont le volume, la variété et la vélocité. Il existe deux autres caractéristiques plus récentes qui sont la variabilité et la véracité des données.

#### **b. Sur le plan pratique**

Bien que l'IA prétende imiter le fonctionnement du cerveau humain, ce n'est pas réellement le cas. Si l'homme déduit des conclusions des faits qu'il observe ou qui l'entourent, un système d'intelligence artificielle apprend par essais et erreurs. Cela implique un apprentissage basé sur des quantités massives de données. Par ailleurs, ce processus requiert également une énorme puissance de calcul, d'où l'utilisation des GPU. Maintenant, en combinant la puissance des processeurs avec le Big Data, les algorithmes d'IA gagnent en puissance, en vitesse et en précision.

L'avantage palpable pour l'IA alimenté par le Big Data est une amélioration de la prise de décision. En effet, plus elle a des informations significatives, mieux elle peut réagir en fonction de ces données. Pour une entreprise, cela peut par exemple se traduire par une meilleure compréhension des clients (comportements, besoins, etc.).

Pour faire simple, pour répondre aux attentes grandissantes de la communauté technologique actuelle, l'IA a besoin du Big Data.

### **I.7.2 L'IA appliquée au Big Data**

En quelque sorte, l'IA est le résultat du processus de Big Data. Les mégadonnées alimentent les systèmes d'intelligence artificielle et en contrepartie, celle-ci permet de donner un sens aux quantités de données massives. Au lieu de se limiter à obtenir des informations sur les entrées, le Big Data combiné à l'IA permet d'extraire des instances plus significatives et plus pertinentes.

#### **a. Les avantages que l'IA apporte au Big Data**

Avant tout et entre autres informations, il est primordial de détecter les anomalies dans les données. Pour recueillir des informations, l'IA peut, par exemple, utiliser des capteurs ayant une plage de fonction définie. Toute information qui sort de cette fonction est considérée comme une anomalie.

Un autre avantage de l'IA appliquée au Big Data est l'analyse prédictive et prescriptive. En termes simples, en tenant compte de certaines informations extraites des mégadonnées, un système intelligent peut déterminer la probabilité d'un résultat futur. Ensuite, sur la base de cette prédiction, il est possible de prendre des décisions plus avisées. Par exemple, les données historiques sur les habitudes d'un client peuvent influencer ses prochaines interactions. Grâce à cette information, le système peut prédire le moment de son prochain achat et personnaliser les services en fonction de ses préférences.

En outre, l'intelligence artificielle offre de nouvelles méthodes d'analyses permettant d'identifier des modèles que les humains ne peuvent pas voir. De même, l'IA peut mieux interpréter les graphiques pour en tirer des informations. Nous pouvons dire que les modèles statistiques d'autrefois constituent aujourd'hui, avec l'informatique, le Big Data et l'IA.

Par ailleurs, l'analyse des données avec des outils d'IA est tout simplement plus rapide. En gros, l'utilisation de ces systèmes épargne aux humains les tâches laborieuses. Un exemple pratique est l'utilisation d'un système de questions-réponses dans un hôpital pour diagnostiquer rapidement un patient et identifier les cas prioritaires. [14].

### **c) Le nuage et le brouillard**

Le nuage informatique (Le Cloud)

Le cloud computing ou informatique en nuage est une infrastructure dans laquelle la puissance de calcul et le stockage sont gérés par des serveurs distants auxquels les usagers se connectent via une liaison Internet sécurisée. L'ordinateur de bureau ou portable, le téléphone mobile, la tablette tactile et autres objets connectés deviennent des points d'accès pour exécuter des applications ou consulter des données qui sont hébergées sur les serveurs. Le cloud se caractérise également par sa souplesse qui permet aux fournisseurs d'adapter automatiquement la capacité de stockage et la puissance de calcul aux besoins des utilisateurs

Pour le grand public, le cloud computing se matérialise notamment par les services de stockage et de partage de données numériques type Box, Dropbox, Microsoft OneDrive ou Apple iCloud sur lesquels les utilisateurs peuvent stocker des contenus personnels (photos, vidéos, musique, documents...) et y accéder n'importe où dans le monde depuis n'importe quel terminal connecté

#### **Les services du cloud computing**

On distingue plusieurs types de services cloud :

- IaaS (*Infrastructure as a Service*, en anglais) : le système d'exploitation et les applications sont installés par les clients sur des serveurs auxquels ils se connectent pour travailler comme s'il s'agissait d'un ordinateur classique.

- PaaS (*Platform as a Service*, en anglais) : dans ce mode, c'est le fournisseur du service cloud qui administre le système d'exploitation et ses outils. Le client peut installer ses propres applications si besoin.

- SaaS (*Software as a Service*, en anglais) : les applications sont fournies sous forme de services clés en mains auxquels les utilisateurs se connectent via des logiciels dédiés ou un navigateur Internet. Pour le grand public, il s'agit par exemple de messageries électroniques type Gmail, Yahoo, Outlook.com ou de suites bureautiques type Office 365 ou Google Apps.

### **I.7.3 Le cloud computing**

Le cloud computing ou informatique dans les nuages consiste à externaliser ses données informatiques vers des serveurs distants. Ces services s'adressent surtout aux entreprises et aux organismes officiels. Les données du client sont envoyées via Internet vers des serveurs distants situés dans des centres de stockage sécurisés et vidéosurveillés avec accès limité.

Le fournisseur se charge de conserver les données de ses clients en lieu sûr. Le cloud computing se décline en plusieurs niveaux de services :

IAAS (*Infrastructure As A Service*) : Seule l'infrastructure matérielle est externalisée. PAAS (*Platform As A Service*) : L'externalisation concerne l'infrastructure matérielle, les données et les applications. SAAS (*Software As A Service*) : Le tout-compris qui inclut l'externalisation complète, la mise en fonctionnement et la maintenance. Il s'agit de la formule la plus courante.

Des solutions et technologies de pointe comme l'Internet des objets, la 5G et les mégadonnées s'appuient sur le cloud computing

Le cloud computing offre plusieurs avantages considérables aux entreprises, en particulier le mode SaaS. Il leur permet de délocaliser leur matériel, leurs données et leurs applications sur des serveurs dans des espaces spécifiques (les centres de données).

En confiant ces tâches à un prestataire de confiance, ils gagnent de l'espace dans leurs locaux (plus besoin de stocker des serveurs) et du temps (l'architecture et le stockage des données sont pris en charge par le fournisseur).

Autre caractéristique fondamentale qui donne à l'informatique dans les nuages tout son sens : les données conservées sont accessibles depuis n'importe où par les personnes qui sont autorisées à y accéder. Une aubaine dans le cadre du travail collaboratif.

Si vos collaborateurs sont basés à Madrid, Pékin, New York et Kinshasa, ils pourront tous accéder au portail de votre entreprise depuis leur smartphone ou leur ordinateur, insérer leur mot de passe et consulter le compte-rendu de votre dernière réunion, partager leurs avis et laisser des commentaires en temps réel. Cette belle prouesse de l'informatique dans les nuages porte un nom : la synchronisation des postes de travail.

### **I.7.3 Comment fonctionne l'informatique en nuage ?**

Vous souscrivez une formule et signez un contrat d'externalisation de votre architecture informatique avec un fournisseur de solutions de cloud computing (abonnement mensuel ou annuel). Toutes les données de votre entreprise sont envoyées vers des serveurs distants, dans un centre de stockage. Pour y accéder, vous vous connectez à Internet depuis votre PC ou votre smartphone (authentification requise).

Le fonctionnement et les prestations fournies varient selon le type de service souscrit (IaaS, PaaS, SaaS). Les machines virtuelles du fournisseur opèrent dans des clusters. Plusieurs dispositifs de sécurité (notamment des mécanismes de redondance) permettent d'éviter une interruption du service pouvant engendrer une perte des données. [15].

#### **d) Les Smartphones**

L'adoption des terminaux mobiles constitue une nouvelle étape pour l'usine digitale : accès aux données machine, sûreté et ergonomie font du smartphone le meilleur allié de l'opérateur en milieu industriel. Le smartphone a vocation à devenir une passerelle pour connecter les outils, les vêtements et les accessoires des agents de production afin de contrôler les paramètres d'environnement, alerter d'un danger ou d'une chute, configurer un outil manuel...

54 % des managers et 53 % des responsables d'usine ont accès à leurs données métier en temps réel sur mobile (étude LNS Research). Ces appareils industriels, désormais majoritairement sous Android, sont pris en charge par un système de remontée intelligentes d'informations, interopérable avec un vaste ensemble de données hétérogènes comme la gestion de tâches, d'alarmes ou d'alertes. On parle notamment de remontées et de partages d'informations intelligentes pour toucher la bonne personne au bon moment. L'objectif d'un tel

dispositif est d'accroître l'efficacité de l'ensemble de la chaîne de production pour répondre aux besoins d'agilité croissants de l'industrie. Recevoir des informations en temps réel accélère la prise de décision et limite les temps d'arrêts critiques sur les processus de fabrication.

#### **I.7.4 Un outil créateur de valeur en milieu industriel**

L'opérateur nomade doit relever le défi de la flexibilité et de la réactivité en milieu industriel à l'heure où les cadences de production sont de plus en plus élevées.

Le bénéfice principal du smartphone industriel, et le plus évident, est la possibilité qu'il donne aux opérateurs de garder le contact où qu'ils soient dans l'usine. Le smartphone industriel rompt l'isolement lié au poste de travail et rassure le technicien en lui donnant également un accès permanent à la messagerie, au planning des interventions et à leur classement par priorité... Le GPS présent sur certains smartphones industriels offre également une aide précieuse pour organiser intelligemment les journées de travail.

Autre bénéfice du smartphone adapté au milieu industriel : il concourt à l'objectif 0 papier. En quelques manipulations, l'opérateur consulte la documentation capitalisée dans les espaces numériques collaboratifs de l'entreprise. Pouvoir accéder à tout moment à un savoir-faire expert réduit le risque d'erreur lors des interventions.

Enfin, le smartphone est un véritable outil pour accroître la sécurité. Lors d'un événement imprévu (incident, panne), les informations critiques reçues en temps réel et riches en contexte (vidéo, audio, texte, graphique) leur permettent d'intervenir au bon endroit, au bon moment, avec des actions appropriées.

#### **I.7.5 Demain, l'opérateur augmenté, porté par la croissance du marché grand public**

Mais la fragilité des terminaux limite leur durée de vie en milieu industriel... En atelier et en entrepôt, où les conditions de travail peuvent être extrêmes, l'électronique grand public n'a en effet guère sa place. On peut ajouter à cela la poussière ou l'humidité, et l'on comprend aisément pourquoi l'industrie opte pour des terminaux mobiles spécifiques.

D'où l'essor des smartphones adaptés à ces environnements contraignants : on parle alors de mobile durcis pour résister aux chocs, de technologie DECT pour une communication sans zone d'ombre ou encore de norme ATEX pour résister aux étincelles par exemple. Cette

croissance est portée par celle des smartphones grands publics, tant sur le plan économique que celui de l'innovation.

Au troisième trimestre 2019, les ventes de smartphones ont progressé de 2 % (366 millions vendus sur la période), selon Strategy Analytics. Cette croissance repose en partie sur l'innovation dont font preuve les fabricants. Une innovation qui profite au milieu industriel. Les caractéristiques d'ergonomie (taille des écrans, poids...) ou les fonctionnalités s'intègrent de plus en plus dans le milieu industriel : à la fois pour favoriser l'adoption de l'outil (en lien avec les usages du smartphone au quotidien) mais aussi pour améliorer la réactivité et la protection des travailleurs isolés. Et les usages professionnels sont nombreux, au sein d'usines de fabrication, dans le domaine du transport-logistique et même dans le médical !

Le smartphone devient utile pour anticiper, prendre des initiatives et collaborer : prendre en photo-vidéo une anomalie sur un robot en entrepôt, scanner une marchandise en transit pour vérifier la température de la cargaison sans l'ouvrir un code-barre ou bien encore scanner le code-barre sur le poignet d'un patient pour connaître son dossier médical. Toutes ces données sont ensuite partagées en temps réel à différents contacts.

Ce qui s'applique aux smartphones concerne également les tablettes voire les montres. Et demain ? Smartphones, cobots, blockchain, réalité virtuelle... Les objectifs de rentabilité élevés dans l'industrie demanderont aux hommes une plus grande maîtrise des outils digitaux. Le développement des objets connectés et technologies en milieu industriel ne fait que commencer : pour gagner en agilité, réactivité et performances, nous entrons de plein pied dans l'ère de l'humain augmenté. [16].

#### **e) Simulation**

Dans l'environnement de marché concurrentiel et en rapide évolution d'aujourd'hui, les entreprises doivent être flexibles, modulaires, adaptables, évolutives et fondées sur un savoir-faire et doivent très bien utiliser les technologies de l'information et de la communication. Par conséquent pour s'adapter aux changements technologiques et aux fluctuations de la demande, avant de prendre des décisions importantes concernant la conception de l'usine, la modélisation de l'usine par simulation peut fournir de précieuses informations. [17].

Auparavant, si les fabricants voulaient tester si un processus fonctionnait de manière efficace et efficiente, il fallait procéder à des essais et des erreurs. L'industrie 4.0 utilise la virtualisation pour créer des copies numériques identiques au réel qui sont utilisées pour la

modélisation de simulation et les essais et qui joueront un rôle plus important dans l'optimisation de la production, ainsi que dans la qualité des produits. [07].

La simulation est donc un outil puissant pour observer les performances des systèmes de production dans des conditions de demande variable et d'usine dynamique dans des environnements virtuels. [17].

#### **f) Réalité augmentée (RA)**

Il est couramment affirmé que les technologies émergentes, notamment la Réalité augmentée (RA), ouvrent de nouvelles perspectives pour la formation. Aujourd'hui, le constat est que peu de données objectives viennent étayer les hypothèses qui sont faites quant à l'intérêt, l'efficacité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de ces technologies.

Cet article présente une revue de certains problèmes ergonomiques de la RA pour la formation. La première partie expose brièvement le concept de RA et les intérêts envisagés de cette technologie pour l'apprentissage. Dans la deuxième partie, nous discutons de l'approche de la RA, aujourd'hui majoritaire dans le domaine, c'est-à-dire l'approche centrée sur les défis technologiques. La troisième partie expose les limites et les avantages d'une autre approche de la RA identifiée dans la littérature : l'approche centrée sur l'utilisateur. Dans cette approche, la RA est considérée et évaluée en tant que ressource pédagogique et aide à l'activité. Par conséquent, les principales questions de recherche traitées concernent les objectifs de formation implantés dans les prototypes de RA, les profils des utilisateurs ciblés, les configurations pédagogiques actuellement disponibles et les modalités sensorielles exploitées. La quatrième partie de l'article présente un nombre de données empiriques actuelles sur l'ergonomie de la RA pour l'apprentissage. Schématiquement, l'apport de l'ergonomie à la RA pour l'apprentissage et respectivement les données empiriques sur cet apport se situent à deux niveaux : elles concernent 1 / l'utilisabilité de l'interface et des dialogues et 2 / l'efficacité des systèmes de RA pour l'apprentissage et les processus cognitifs impliqués. En conclusion, nous soulignons l'importance d'une approche centrée à la fois sur l'utilisateur et l'apprentissage tout au long de la conception et de l'évaluation de la RA pour la formation.

#### **I.7.6 La réalité augmentée : concepts et intérêts pour l'apprentissage**

L'expression « réalité augmentée » a été introduite au début des années 1990 [18] afin de désigner une forme spécifique d'interaction homme-machine (IHM) fondée sur l'association sémantique et spatiale d'objets réels et virtuels, c'est-à-dire générés par un ordinateur. L'idée

d'augmentation renvoie ainsi à l'enrichissement supposé de l'information véhiculée par les objets virtuels, par référence aux seules informations accessibles à l'utilisateur dans l'environnement immédiat du monde réel. Les technologies de RA, à la différence de celles de Réalité virtuelle (RV), ne visent pas une substitution du monde réel par une analogie virtuelle. Les fondements de la RA résident essentiellement dans l'aspiration de créer des interfaces « intuitives » et faciles à utiliser. [19].

Critiquable d'un point de vue lexical et conceptuel, le vocable « RA » a été progressivement précisé, étendu ou remplacé par une multitude d'autres dénominations telles que « réalité améliorée » [20], « réalité médiatisée » [21], « réalité mixte », « virtualité augmentée » [22]. L'objectif de cet article n'est pas de présenter une discussion sur les différentes dénominations et les définitions sous-jacentes. C'est pourquoi nous nous limiterons à noter que tous ces termes introduisent des nuances subtiles relatives aux composants technologiques mélangeant le virtuel et le réel ou aux rapports entre les deux types d'environnement. À titre d'exemple, la RA se différencie de la virtualité augmentée par le fait que, dans le premier cas, l'environnement réel est enrichi par des éléments virtuels, tandis que dans le deuxième cas on observe l'inverse ; le concept de réalité mixte englobe la RA et la virtualité augmentée. Dans tous ces concepts, la notion intégrative est la fusion du réel et du virtuel par des moyens informatiques.

Actuellement, la formation est l'un des deux domaines d'application privilégiés de la RA, l'autre étant l'assistance au suivi de procédures. En effet, plusieurs auteurs considèrent que la RA pourrait contribuer à constituer un environnement favorable à l'apprentissage. Nombre d'idées fortes sur les intérêts de ce type d'IHM pour la formation coexistent. Les plus courantes peuvent être réunies dans les deux groupes suivants : fournir un double support réel-virtuel à l'activité, généralement de l'apprenant ; stocker et délivrer de l'information contextualisée. Un troisième groupe d'éléments hétérogènes concerne l'amélioration de l'utilisabilité des outils issus des technologies de la RV immersive et l'accroissement de la motivation. [23].

#### **g) Technologie son fil**

Si l'on a souvent considéré que la technologie filaire était plus fiable que la technologie sans fil, cette tendance est clairement en train de s'inverser. La technologie sans fil envahit notre quotidien : smartphones, périphériques audio et vidéo, clés de voiture, domotique... Elle s'invite partout.

Force est de constater qu'elle fonctionne de mieux en mieux, et se généralise de plus en plus. Selon le site ABI Research, le marché mondial de la connectivité sans fil devrait atteindre les 10 milliards de circuits intégrés vendus par an en 2021. À cette même échéance, 47 % de tous les appareils seraient équipés de Wifi, et 60 % du Bluetooth.

Découvrez ici un petit tour d'horizon des différentes technologies sans fil et de leur fonctionnement.

### **1. Wifi**

Wi-Fi est le nom d'une technologie de réseau sans fil populaire qui utilise les ondes radio pour fournir des connexions Internet haute vitesse sans fil et des connexions réseau. Une idée fausse courante est que le terme Wi-Fi est l'abréviation de « wireless fidelity », mais ce n'est pas le cas. Wi-Fi est simplement une expression de marque déposée qui signifie IEEE 802.11x.

### **2. Bluetooth**

Une autre norme de communication sans fil est le Bluetooth. Bluetooth est un moyen d'échanger des données sans fil sur de courtes distances.

Il utilise des ondes radio UHF, ainsi qu'une fréquence de 2,4 GHz, pour échanger des données à courte portée entre deux appareils. C'est chez le fabricant suédois Ericsson, en 1994, que cette norme voit le jour. La liaison Bluetooth a l'avantage de génère une très faible consommation d'énergie. Il est très sûr et peut connecter jusqu'à huit appareils (appareils électroniques) en même temps. La puce peut être branchée à des ordinateurs, des appareils photo numériques, des téléphones portables et des télécopieurs.

Elle possède un faible débit et une faible portée, mais est très bon marché, et tout indiquée pour les appareils et périphériques fonctionnant sur batterie. Son débit est bien plus faible que celui du Wifi, et la plupart des appareils Bluetooth utilisent un module radio de classe 2, d'une portée de 10 à 20 mètres.

Bluetooth est une technologie sans fil pour l'échange de données sur de courtes distances. La puce peut être branchée à un ordinateur, un appareil photo numérique ou un téléphone portable. Pour en savoir plus sur Bluetooth, consultez ce petit guide

### **3. Infrarouge**

Le rayonnement infrarouge est un rayonnement électromagnétique, qui trouve des applications dans de très nombreux secteurs (guidage, chauffage, vision nocturne, astronomie, détection de faux billets...). Dans le domaine de la communication et de la connectivité, on le trouve souvent utilisé dans les télécommandes, car contrairement aux ondes radio, il n'interfère

pas avec d'autres signaux électromagnétiques (comme ceux émis par une télévision). On le retrouve également utilisé par certaines étiquettes numériques industrielles, qui peuvent être lues par infrarouge.

#### 4. NFC

A NFC, pour Near field communication (communication en champ proche), est une technologie de communication sans fil à très haute fréquence, et à portée très limitée. Elle utilise une gamme de fréquence de 13,56 MHz, et offrent des débits de 106, 212 ou 424 kbit/s. La NFC n'est opérationnelle que sur une très courte distance, de l'ordre de quelques centimètres. Elle est donc utilisée par exemple pour déverrouiller des accès, et s'est énormément généralisée sur les cartes bleues, permettant le paiement sans contact.

On estime ainsi, en 2016, que 31,5 millions de cartes de paiement utilisent la technologie NFC en France.

#### 5. Réseaux mobiles

Le réseau mobile est le réseau auquel vous vous connectez lorsque vous utilisez un téléphone portable. Pour fonctionner, le téléphone doit capter un signal radio suffisamment puissant, diffusé par l'antenne-relais d'un des nombreux opérateurs téléphoniques.

Un téléphone évalue en permanence la qualité du signal radio qu'il reçoit, et change d'antenne-relais quand la réception devient trop mauvaise. C'est ce qu'on appelle un transfert intercellulaire.

Au fil des années, les réseaux mobiles se sont perfectionnés, en utilisant de plus en plus de fréquences de bandes différentes, et en offrant des débits de plus en plus importants. Actuellement, la technologie de réseau mobile la plus moderne, la 4G (de son vrai nom LTE, pour Long Term Evolution), propose des débits jusqu'à 6 fois supérieurs à la 3G, et utilise des fréquences de 700, 800, 1 800 et 2 600 MHz. [24].

#### h) L'apprentissage machine à machine (M2M) et l'intelligence artificielle (IA)

L'apprentissage machine à machine (en anglais M2M Learning) est très important et parfois très simple, par exemple un examen à choix multiples. Disons que l'examen vise à déterminer le niveau de connaissances de l'étudiant, il peut donc poser une question au hasard, il est possible qu'elle soit classée comme difficile, moyenne ou facile. Si l'élève répond incorrectement, le programme peut poser une autre question mais de découvrir sa

compréhension du sujet. Il s'agit, en termes simplistes, de l'apprentissage machine à machine. [07].

Techniquement on peut dire qu'il s'agit de la machine elle-même qui s'apprend en utilisant les données (le Big Data)

Un exemple de cela est l'AlphaGo de Google qui a battu le champion du monde *Lee Solol* au jeu de plateau GO, qui est un jeu extrêmement complexe avec une victoire au meilleur des cinq. Ce qui est bizarre, c'est que tant *Lee Solol* que le champion d'Europe (qui avait été battu auparavant par AlphaGO) ne comprenaient pas la logique de l'*AlphaGo*. *AlphaGo* a utilisé les données de milliers d'anciens matchs et a même joué des parties contre lui-même, construisant une telle mémoire des mouvements possibles comme un processus d'apprentissage 24/24h, 7/7j, qu'il ne cesse d'améliorer son jeu stratégique. (WIRED,s.d)

Le fait que l'IA essaye d'imiter le fonctionnement du cerveau humain ne signifie pas qu'elle essaye de le remplacer. Un être humain est une machine extraordinaire, capable d'apprendre et de s'adapter à des exigences et à des environnements travail acquérir des compétences bien plus facilement et à moindre cout que si l'on remplaçait un équipement robotique ou un CPS extrêmement couteux sur une chaine de production. Les humains sont aussi fantastiquement capables d'effectuer un travail précis et délicat, ce que les robots ont du mal à faire. Les humains ont également un cerveau, une dextérité, une force et un engagement envers leurs collègues et leur famille extraordinaires. Malheureusement, les humains ont ne peut personnalité, s'ennuient facilement et ont un ego qu'aucun ordinateur ne peut égaler. Par conséquent, les tâches répétitives et ennuyeuses sont plus adaptées aux robots. Après une chaine de productions toute la journée à effectuer des tâches répétitives et ennuyeuses. Nous avons des défauts qui nous rendent humains et ceux-ci pourraient être en faveur du robot sur le marché du travail de l'avenir.

### **Impression 3D**

L'impression 3D est une technique de fabrication dite additive qui procède par ajout de matière, contrairement aux techniques procédant par retrait de matière comme l'usinage. L'impression 3D permet de réaliser des objets usuels, des pièces détachées ou encore des prototypes destinés aux essais. Le point de départ est un fichier informatique représentant l'objet en trois dimensions, décomposé en tranches. Ces informations sont envoyées à une imprimante 3D qui va réaliser la fabrication par ajout de couches successives.

### Les techniques d'impression 3D

Il existe différentes techniques d'impression 3D, selon la matière première utilisée

- Fused deposition modeling(FDM) : dépôt par extrusion d'un fil de plastique ABS ou PLA fondu ;
- Stereolithography Apparatus (SLA) : des élastomères ou plastiques thermodurcissables liquides sont polymérisés couche par couche par un laser ;
- Continuous Liquid Interface Production (CLIP) : une résine liquide est polymérisée par un laser ultraviolet dans un environnement où la teneur en oxygène est contrôlée ;
- Frittage sélectif par laser ou Selective Laser Sintering (SLS) : des thermoplastiques, métaux ou céramiques sous forme de poudre sont frittés couche après couche par un laser ;
- Fusion sélective par laser ou Selective Laser Melting (SLM) : des métaux, plastiques et céramiques sous forme de poudre sont fondus couche après couche par un laser.

### Impression 3D de maisons, d'organes, de nourriture...

L'impression 3D est en évolution constante. Elle se perfectionne tant en termes de matériaux utilisés (plastiques, métaux, résines, encres, cires et même du verre) que de finesse, de restitution des couleurs, de vitesse et de taille des objets réalisés. Dans le bâtiment, par exemple, des maisons ont été construites en seulement 24 heures grâce à des imprimantes 3D géantes selon le procédé dit de *contour crafting*.

Dans le domaine de la médecine, l'impression 3D est amenée à jouer un rôle croissant pour la fabrication d'implants, de prothèses ou même d'organes. On parle alors de *bioprinting*. En 2013, des chercheurs ont réussi à fabriquer une oreille humaine artificielle par impression 3D composée de collagène et de cellules vivantes

Dans le domaine alimentaire, il existe des imprimantes 3D capables de reproduire certains plats à partir d'ingrédients liquides ou semi-liquides. L'un des arguments en faveur de cette technologie culinaire concerne la maîtrise totale sur l'origine et la composition des ingrédients d'une recette.

### Fabriquer un objet expérimental

La conception assistée par ordinateur dessine l'objet que fabrique l'impression 3D. Il peut s'agir d'un prototype ou d'une pièce détachée. Le produit une fois conçu peut être soumis à toutes sortes de tests et d'expérimentations avant le passage à la production de masse. Les bénéfices de l'impression 3D sont multiples :

- Elle réduit considérablement le temps et le coût du processus de production,

- Elle contribue aux économies d'échelle,
- Elle permet d'affiner les objets au plus près des besoins et du désir des consommateurs.

### **Des techniques de plus en plus précises**

On peut citer des techniques variées d'impression 3D :

- La stéréolithographie pour les polymères thermodurcissables que l'on appelle également résines. Elle fait appel à un laser,
  - Le dépôt de fil fondu qui construit des pièces couche par couche. Elle produit des filaments d'ABS ou de PLA,
  - Le frittage sélectif par laser à destination des céramiques, des métaux et des thermoplastiques ;
  - La fusion sélective par laser pour les plastiques, les céramiques, les métaux, etc.

### **L'Impression 3D comment ça marche ?**

#### **Les préparatifs**

Il est évidemment nécessaire d'avoir préalablement réalisé un modèle par CAO à l'aide d'un logiciel adapté. Il est recommandé de visualiser l'objet sur un écran puis de vérifier le niveau du plateau d'impression, les branchements, la stabilité de l'imprimante voire la connexion de cette dernière à l'ordinateur.

#### **Introduisez le filament dans l'extrudeuse**

A seconde étape consiste à introduire le filament du matériel dont on a besoin dans l'extrudeuse que l'on appelle aussi la tête d'impression. Il apparaît normalement dans le tube Bowden.

Il est possible d'utiliser deux couleurs ou deux matériaux différents, à condition d'utiliser deux fichiers 3D pour que le logiciel l'attribue à chaque tête d'impression. Cette tâche est nettement plus complexe et nécessite généralement une certaine expérience.

#### **Passez à l'impression proprement dite**

La durée de l'impression est variable. Elle dépend des paramètres et de la taille du modèle utilisé. Le filament commence à fondre et la tête d'impression le dépose automatiquement sur le plateau. L'objet dessiné grâce à la conception assistée par ordinateur devient réalité.

#### **L'Impression 3D à quoi ça sert ?**

La diminution progressive du coût de l'impression 3D et le progrès technique ont diffusé les applications de l'impression 3D.

#### **La bio-impression**

L'application de l'impression 3D dans le domaine médical est particulièrement prometteuse. Elle permet de fabriquer toutes sortes de tissus biologiques de manière artificielle. Elle conçoit également des prothèses, pour les membres du corps comme pour les dents.

### **I.8 L'industrie et l'ingénierie**

L'Armée américaine et les fabricants d'armes à feu aux États-Unis ont déjà commencé à utiliser l'impression 3D. Dans le secteur automobile, elle est devenue indispensable pour survivre face à l'âpre concurrence à laquelle se livrent les grandes marques. L'industrie aéronautique et aérospatiale s'en sert pour fabriquer des pièces voire une alimentation susceptible d'être envoyée dans l'espace.

#### **L'architecture et le BTP**

L'impression 3D réduit considérablement la consommation de béton et accélère le processus de fabrication.[25].

### **I.9 L'Algérie et l'Industriel 4.0**

La position du gouvernement algérien vis-à-vis de l'industriel 4.0 semble jusqu'à présent peu claire, avec de très rares commentaires sur le sujet de la part de l'Etat, même si les nouveaux palans de 'développement de l'économie' ont été abordés à maintes reprises. Mais nous attendons logiquement un plus grand intérêt du gouvernement pour l'industriel 4.0 dans le futur proche. Peut-être après la pandémie.

L'ignorance du gouvernement à l'égard de l'industrie 4.0 ne signifie pas nécessairement qu'elle est inadéquate au contexte algérien ou qu'elle est trop difficile à déployer sur une infrastructure industrielle aussi ancienne. Après tout, l'industriel 4.0 est un train que l'Algérie ne peut probablement pas prendre mais qu'elle sera tôt ou tard obligée de suivre.

C'est pourquoi, dans cette partie, nous essayons de mettre en lumière certains cas d'utilisation qui rendent la nouvelle révolution appropriée et applicable en Algérie.

#### **a. L'industrie de pétrole et du gaz**

L'industrie pétrolière et gazière constitue le cœur de l'économie algérienne. Les exportations de pétrole et de gaz représentent 95 % des recettes extérieures et contribuent à 60 % du budget de l'État. [26].

L'industrie du pétrole et du gaz dépend du développement de la haute technologie ainsi que de l'intelligence scientifique dans la découverte de nouveaux réservoirs, en Algérie ou dans tout

autres pays. L'exploration et l'exploitation des ressources pétrolières et gazières nouvellement découvertes nécessitent des capteurs, des analyses et des systèmes de contrôle à rétroaction modernes qui ont amélioré la connectivité, la surveillance, le contrôle et les processus d'automatisation. [07] ...

Auparavant, la technologie ciblait la production de pétrole et de gaz, mais les géologues avaient une capacité limitée à traiter les vastes quantités de données produites par une plateforme de forage, car il y en avait tellement et le stockage était coûteux et tout simplement impossible. En effet, la quantité de données collectées était telle que jusqu'à 90 % d'entre elles étaient supprimées, car il n'y avait nulle part où stocker les données, sans parler de la puissance de calcul nécessaire pour les analyser en temps utile. [07].

Ce système de production est ce que nous appelons une production Industrie 3.0, où le SCADA et les API sont largement utilisés. Ces derniers ne sont pas nouveaux pour la production algérienne, notamment pour la société SONATRACH (Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures). (SONATRACH).

L'un des nombreux changements que nous pouvons avoir en passant d'une industrie 3.0 à une industrie 4.0 est celui de forage et d'exploration puisqu'ils étaient auparavant coûteux et imprévisibles car ils étaient basés sur l'analyse de la cartographie par les géologues.

Cela s'est avéré imprévisible et, en conséquence, les principaux producteurs et explorateurs de pétrole et de gaz sont en train de transformer leurs infrastructures pour tirer profit des nouvelles technologies industrielles

Ces technologies, telles que les communications à large bande, la technologie des capteurs sans fil, le stockage des données dans le Cloud avec des outils analytiques avancés et les réseaux intelligents avancés, permettent de mettre en place des systèmes qui améliorent la prévisibilité de la recherche sur le terrain, réduisent les coûts d'exploration et, éventuellement, diminuent les dépenses d'exploitation sur le terrain. [07].

La connectivité des appareils et les besoins d'énergie et de câbles sont un véritable problème en Algérie, vu l'immensité de son territoire, dont 80 % est un désert. [27] Mais ce problème a été atténué, dans d'autres régions du monde, par la communication sans fil. Les nouvelles technologies et protocoles sans fil, ainsi que les technologies à faible consommation et la miniaturisation des composants, permettent de placer les capteurs n'importe où, quelles que soient leur taille, leur inaccessibilité ou les restrictions de câblage.

Cela facilitera l'exploration et l'exploitation des ressources dans une zone rurale telle que le Sahara algérien, et rendra le système encore plus efficace non seulement dans l'industrie pétrolière et gazière, mais il pourra aller encore plus loin dans d'autres domaines tels que la production d'énergie électrique par les panneaux solaires par exemple.

#### **b. Les PME**

L'Algérie compte environ 1 220 000 PME en activité recensées sur tout son territoire, selon des statistiques fournies, par un représentant du ministère de l'Industrie et des Mines (El Watan, s.d.). En Tunisie le nombre est de 771 000 (Tunisien), alors qu'en France, c'est 3748122. [28].

Le secteur des PME joue un rôle extrêmement important dans l'économie moderne, s'avérant être le système le plus attractif et le plus puissant en matière d'innovation. La contribution vitale des PME au développement économique est une réalité unanimement reconnue. La démonstration de leur utilité économique et sociale a conduit à considérer le secteur des PME comme un domaine d'intérêt stratégique pour l'économie. En outre, les PME génèrent le plus grand nombre de nouveaux emplois avec un capital beaucoup moins coûteux, ce qui constitue une alternative importante dans la lutte contre le chômage.

Dans leur ensemble, les PME sont établies dans une réalité très diverse, hétérogène, flexible, dynamique et adaptable. Ces caractéristiques rendent la nouvelle révolution encore plus appropriée aux PME qu'aux grandes entreprises, puisque nous avons déjà parlé à plusieurs reprises de l'avantage qu'offre l'industrie 4.0 en termes d'adaptabilité à un environnement changeant et de flexibilité.

Robert Rudolph, membre du conseil d'administration / Digitalisation & Innovation chez Swissme2, explique une autre idée : "Les PME ont le potentiel nécessaire pour mettre en place de nouveaux processus industriels 4.0 à partir de zéro. Les grandes entreprises, en revanche, ont un problème plus important d'intégration des données dans les différents secteurs d'activité ». [29].

Cet intérêt pour le développement des PME n'est pas seulement pour les raisons mentionnées ci-dessus, mais aussi pour le fait qu'une usine intelligente à n'importe quelle échelle, ne peut pas fonctionner seule, même si elle comporte toutes les nouvelles technologies. Elle a besoin d'un environnement industriel 4.0 : d'une chaîne logistique 4.0, de machines 4.0, même d'une demande 4.0. Ceci a motivé, bien sûr en parallèle avec le poussage des PME vers

l'industrie 4.0, le nouveau phénomène de la " ré-industrialisation " qui consiste à réinstaller à domicile des entreprises et des usines qui avaient été précédemment envoyées à l'étranger.

Le point est expliqué plus par Robert Rudolph : "La délocalisation de la production peut être à la fois ralentie et accélérée par l'industrie 4.0. Les solutions de l'industrie 4.0 peuvent contribuer à réduire les coûts et la pression exercée par les délocalisations pour des raisons de coûts, mais ces mêmes solutions permettent également aux entreprises d'organiser plus efficacement les structures globales ». [29].

### **I.10 conclusion**

Le passage de l'industrie 3.0 à l'industrie 4.0 ne peut réussir que si la normalisation des données, des processus et des interfaces est réussie. La difficulté de se mettre d'accord sur une norme commune est illustrée par l'exemple de la normalisation des alimentations électriques des appareils mobiles : en 2009, la plupart des fabricants de l'industrie mobile ont promis qu'à partir de 2012, la plupart des nouveaux téléphones mobiles seraient alimentés électriquement avec un seul chargeur normalisé. Cette promesse n'a pas été tenue jusqu'à aujourd'hui. (Dittes)

Par conséquent, on peut conclure par dire que sans normalisation des processus, la transformation en industrie 4.0 va sans doute échouer.

Dans ce chapitre, nous avons introduit le terme industrie 4.0. Tout d'abord, nous avons discuté ses principales différences avec le terme « Internet industrielle ». Nous avons également mentionné les quatre principaux composants du terme : CPS, IoT, IoS et l'usine intelligente. Après la définition de chacun d'eux, Nous avons présenté les technologies qui ont favorisé cette révolution comme la miniaturisation et le cloud computing et le big data.

Avant de terminer, nous avons cité certaines de l'usines intelligentes qui fonctionnent aujourd'hui. Et nous avons finalisé par expliquer comment l'Algérie peut aborder l'industrie 4.0 et les chances qu'elle peut lui donner en particulier dans le domaine du pétrole et du gaz et en aidant l'économie du pays.

Dans le chapitre suivant, nous allons aborder le sujet des métaheuristiques et qui constitue l'un des axes de notre contribution. En effet, les métaheuristiques sont largement utilisées dans le contexte de l'industrie 4.0 afin de renforcer l'intelligence des systèmes industriels.

---

# *Chapitre 2*

*Maintenance et diagnostic des armoires  
électrique*

---

## Introduction

Toute installation électrique industrielle a besoin d'une armoire électrique pour alimenter ses différents composants électriques (moteurs, capteurs...etc.) en énergie électrique pour assurer leur fonctionnement.

Dans notre projet et après avoir étudié le process de la station de neutralisation dans le chapitre un, nous procéderons à la désignation des différents matériaux, nécessaires à la réalisation de cette armoire et le dimensionnement des sections des conducteurs et des protections.

Pour réaliser une armoire électrique, on doit faire la conception avant de passer à la confection. La conception, c'est la planification de l'armoire et la schématisation du plan électrique (circuit de puissance, circuit de commande et circuit de signalisation). La confection, c'est l'assemblage de composants dans le châssis de l'armoire à partir des plans et schémas.

[30]

### II .1 Définition de la maintenance

Selon la norme FD X60-000, Toutes les activités des instances de direction qui déterminent les objectifs, la stratégie et les responsabilités concernant la maintenance et qui les mettent en application par des moyens tels que la planification, la maîtrise et le contrôle de la maintenance, l'amélioration des méthodes dans l'entreprise y compris dans les aspects économiques. [31]

Les actions de maintenance ne sont pas seulement techniques, elles peuvent être économiques et managériales. Ses actions se rapportent au cycle de vie d'un bien, ce qui implique une vision à moyen et long terme de la stratégie de maintenance. [31]

La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance.
- Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.
- Etat spécifié et service déterminé qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.
- Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

#### II.1.2 Concept de l'entretien

L'entretien, se résume aux actions physiques apportées aux moyens de production pour assurer leur disponibilité, selon les critères définis par la politique maintenance. L'entretien est une nécessité que le producteur subit et que le financier trouve coûteuse. Depuis une vingtaine

d'année, la maintenance a acquis ses lettres de noblesse et n'est plus considérée comme un mal nécessaire.

Il existe une distinction entre la maintenance et l'entretien, autrement dit, la maintenance est l'optimisation des paramètres de l'entretien. On peut faire du sous-entretien ou du sur-entretien.

Dans le premier cas, la démarche conduira à une dégradation prématurée des équipements, dans l'autre cas le surplus d'interventions inutiles conduira à un gaspillage financier pour l'entreprise. On peut considérer désormais que la maintenance devient une activité productive et non une charge pour l'entreprise. Maintenir c'est assurer la disponibilité de la production, donc l'assurance de la quantité, mais également la qualité. [32]

### II.1.3 Types de maintenances

D'après la norme NFX 60-010, il existe deux grandes classes de la maintenance qui ont été définies par les experts et ceci selon la présence ou l'absence d'une défaillance : La **maintenance corrective** (en présence de défaillance) et la **maintenance préventive** (en absence de défaillance). [33]

#### II.1.3.1 Maintenance corrective

D'après un extrait de norme CEN 319-003 « La maintenance corrective est une maintenance exécutée après détection d'une panne, elle est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise

Il s'agit d'une maintenance effectuée après défaillance. C'est une politique de maintenance qui correspond à une attitude de réaction à des événements plus ou moins aléatoires et qui s'applique après la panne. On parle dans ce cas de dépannage. [33]

#### II.1.3.2. Maintenance palliative

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire, provisoire. Elle est principalement constituée d'opérations qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives (réparations). Le dépannage est une opération de maintenance palliative qui est destinée à remettre le système en état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. [33]

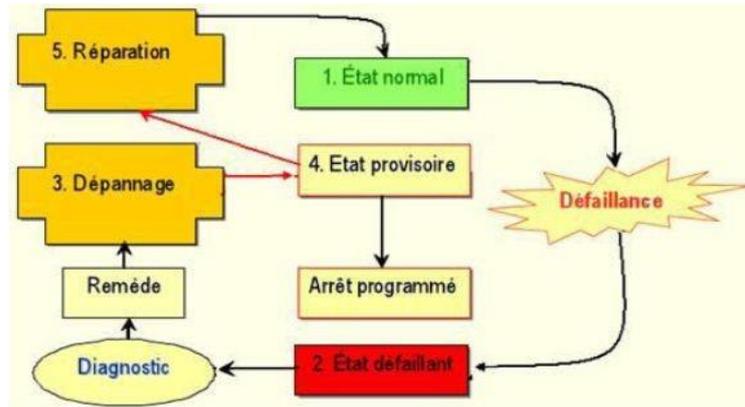


Figure II 1 Maintenance palliative

**II.1.3.4 Maintenance préventive ou planifiée**

AFNOR X60-010 « maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique) et/ou de critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle). » [33]

**II.1.3.5 Maintenance préventive systématique (périodique)**

Lorsque la maintenance préventive est réalisée à des intervalles prédéterminés, on parle de maintenance systématique, l'opération de maintenance est effectuée conformément à un échéancier, un calendrier déterminé a priori. Aucune intervention ne peut avoir lieu avant l'échéance prédéterminée. [33]

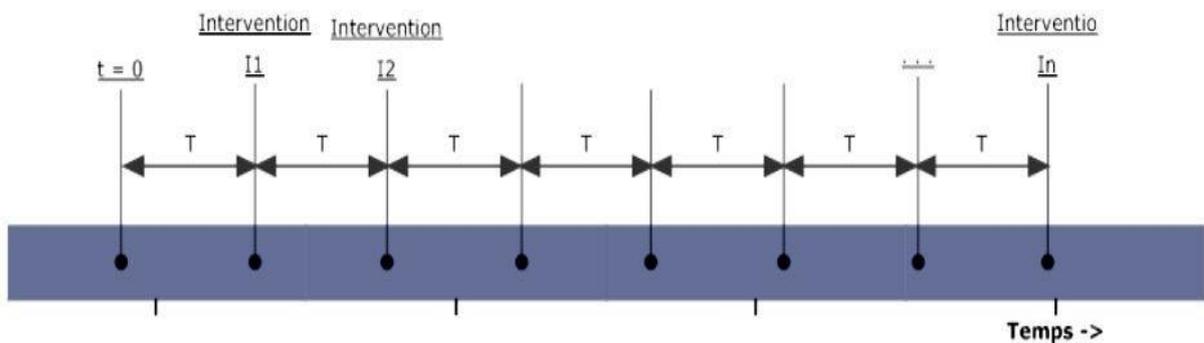


Figure II 2 Intervention préventive systématique

**II.1.3.6 Maintenance préventive prévisionnelle**

Lorsque la maintenance préventive est effectuée sur la base de l'estimation du temps de fonctionnement correct qui subsiste avant l'observation de l'événement redouté, on parle de maintenance prévisionnelle. Une maintenance prévisionnelle peut prendre en compte l'âge du matériel qui n'est pas forcément calendaire mais par exemple le temps de fonctionnement mesuré depuis la dernière inspection. Elle consiste à extrapoler la courbe de dégradation d'un organe pour prévoir une intervention. [33]

### **II.1.3.7 Maintenance préventive conditionnelle**

C'est une maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé révélateur de l'état de dégradation d'un bien. Selon AFNOR X60-010 : « les activités de maintenance conditionnelle sont déclenchés suivant des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service. Les remplacements ou les remises en état des pièces, les remplacements ou les appoints des fluides ont lieu après une analyse de leur état de dégradation. Une décision volontaire est alors prise afin d'effectuer les remplacements ou les remises en état nécessaire. [33]

### **II.1.4. Niveaux de maintenance**

L'AFNOR a procédé à la subdivision des activités de maintenance selon la nature des travaux, les lieux d'intervention, le personnel mis à contribution (utilisateur, technicien qualifié, technicien spécialisé, équipe très spécialisée, fournisseur ou service externe), l'outillage nécessaire, la documentation et les pièces nécessaires. Les cinq niveaux délimités sont les suivants :

#### **1er niveau**

♣ Travaux : réglage simple prévu par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun montage d'équipement ou échange d'équipements accessibles en toute Sécurité (pas de démontage ni ouverture du bien).

♣ Lieu : sur place.

♣ Personnel : exploitant du bien.

Exemple : remise à zéro d'un automate après arrêt d'urgence, changement de consommable

#### **2ème niveau**

♣ Travaux : dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventive.

♣ Lieu : sur place.

♣ Personnel : technicien habilité.

Exemple : changement d'un relais - contrôle de fusibles - réenclenchement de disjoncteur.

**3ème niveau**

♣ Travaux : identification et diagnostic de pannes - réparation par échange standard de composants fonctionnels, réparations mécaniques/électriques mineures maintenance préventive (par ex. réglage ou réalignement des appareils de mesure).

♣ Lieu : sur place ou dans atelier de maintenance.

♣ Personnel : technicien spécialisé.

Exemple : identification de l'élément défaillant, recherche de la cause, élimination de la cause, remplacement.

**4ème niveau**

♣ Travaux : travaux importants de maintenance corrective ou préventive sauf rénovation et reconstruction - réglage des appareils de mesure - contrôle des étalons.

♣ Lieu : atelier spécialisé avec outillage général, bancs de mesure, documentation.

♣ Personnel : équipe avec encadrement technique spécialisé.

Exemple : intervention sur matériel dont la remise en service est soumise à qualification.

**5ème niveau**

♣ Travaux : rénovation - reconstruction - réparations importantes.

♣ Lieu : constructeur ou reconstruteur.

♣ Personnel : moyens proches de la fabrication.[34]

Les ressources nécessaires pour chaque niveau sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Niveaux	Personnel d'intervention	Moyens
1 <sup>er</sup>	Exploitant sur place	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2 <sup>ème</sup>	Technicien habilité sur place.	Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation, plus pièces de rechange trouvées à proximité, sans délai.
3 <sup>ème</sup>	Technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.	Outillage prévu plus appareils de mesure, banc d'essai, contrôle, etc.
4 <sup>ème</sup>	équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central	Outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle, etc.
5 <sup>ème</sup>	équipe complète, polyvalente en atelier central	Moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Tableau II 1 Les ressources nécessaires pour chaque niveau de maintenance

## II.1.4. Grands concepts de maintenance industrielle

### II.1.4.1 La fiabilité

♣ La fiabilité est l'aptitude ou la probabilité d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données et pour une période de temps déterminée.[34]

### II.1.4.2 La maintenabilité

♣ Dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits.[34]

### II.1.4.3 La disponibilité

♣ La disponibilité est l'aptitude à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.[34]

### II.1.4.4 Le diagnostic industriel dans le cadre de la supervision

La supervision est définie comme étant la surveillance, le diagnostic et la décision, c.-à-d., elle consiste à gérer et à surveiller l'exécution d'une opération ou d'un travail accompli par l'homme ou par une machine, puis proposer, si besoin des actions correctives.

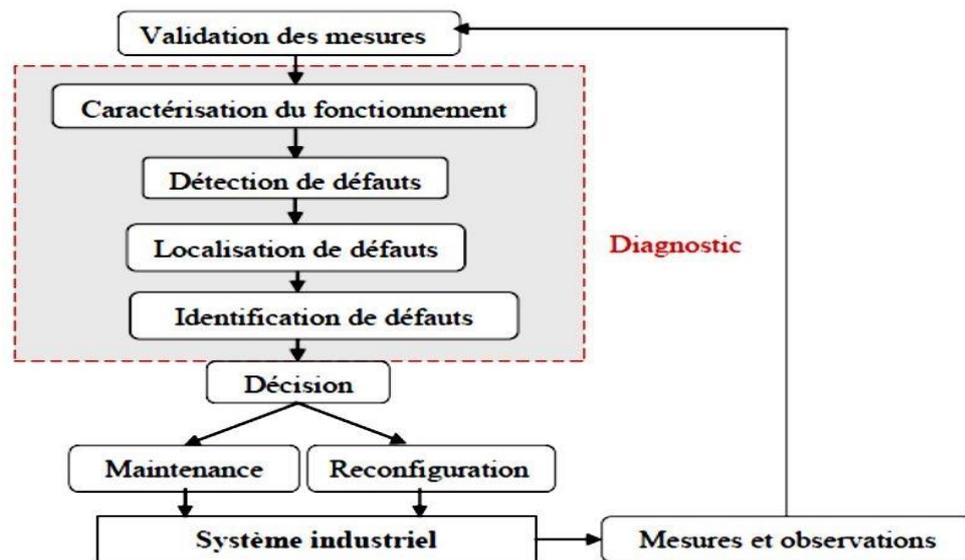


Figure II 3 Les différentes étapes de la supervision

La supervision continue des systèmes industriels est nécessaire pour assurer des conditions d'opération pour lesquelles les algorithmes de commande sont efficaces. Lorsque la fonction de surveillance est réalisée par un opérateur humain, viennent s'ajouter au problème du choix des méthodes et l'architecture de cette fonction, des concepts liés à l'ergonomie des systèmes développés.[35]

### II.1.5. Notion de défaillance

La défaillance est définie comme la cessation des aptitudes d'un dispositif à accomplir une fonction requise. Elles peuvent se manifester par plusieurs symptômes appelés modes de défaillance.

Un exemple de définition selon la norme AFNOR est : « L'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir ses fonctions requises avec des performances définies dans les spécifications techniques ».

Les défaillances, peuvent être classées selon différents critères. Leurs causes sont définies par les circonstances liées à la conception, la fabrication ou le mode d'emploi.[36]

#### II.1.5.1 Classification des défaillances

On distingue plusieurs catégories de défaillance qui dépendent soit de la vitesse d'apparition

Soit de son degré ou des deux. On peut les regrouper dans :

- ▾ Classification des défaillances en fonction du degré regroupe

♣ La défaillance partielle, qui est la déviation des caractéristiques au-delà des limites du bon fonctionnement sans altérer à la fonction.

♣ Défaillance complète, qui est la déviation des caractéristiques telle qu'elle entraîne la disparition de la fonction

♣ Défaillance intermittente telle que les aptitudes sont retrouvées après le défaut.

∨ Classification des défaillances en fonction de la vitesse d'apparition :

♣ Défaillance soudaine qui ne peut être prévue par un examen ou une surveillance.

♣ Défaillance progressive qui peut être prévue par un contrôle ou une surveillance.

∨ Classification des défaillances en fonction de la vitesse d'apparition et du degré :

♣ Défaillance cataleptique qui est à la fois soudaine et incomplète.

♣ Défaillance par dégradation qui est progressive et partielle. [36]

### II.1.5.2 Conséquences des défaillances : Défauts et pannes

La diversité des activités de diagnostic conduit à employer assez souvent les termes de pannes et de défauts, si bien que la différence entre les concepts de défaillance, défaut et panne est parfois très subtile. Une panne résulte d'une défaillance. Elle est définie comme l'inaptitude à accomplir une fonction requise. Les classifications des pannes son similaire à celles des défaillances.[37]

### II.1.5.3 Typologie de défauts

Un défaut est défini comme étant un écart non permis entre la valeur réelle d'une caractéristique du système et sa valeur nominale.

Trois types de défauts sont distingués, : défaut actionneur, défaut capteur et défaut système (ou défaut composant).[38]

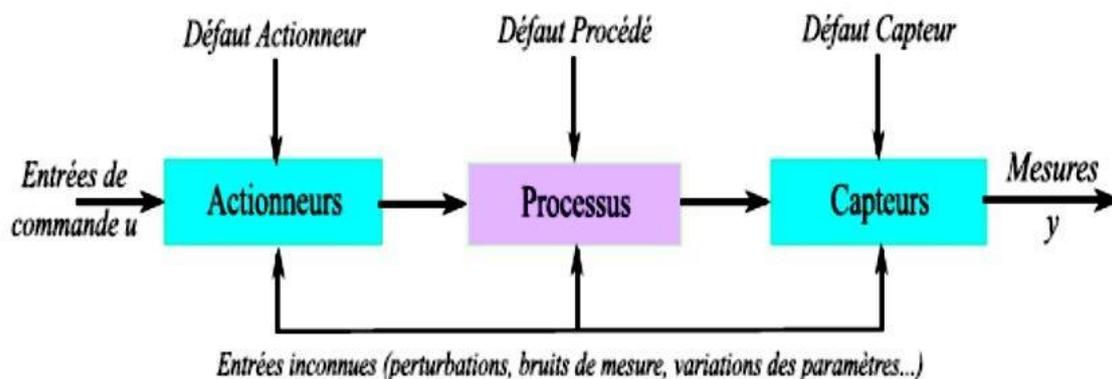


Figure II 4 Différents types de défauts d'un système physique

### II.1.5.3.1 Défauts capteurs

Un capteur est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable. Les capteurs se distinguent de l'instrument de mesure par le fait qu'il ne s'agit que d'une simple interface entre un processus physique et une information manipulable. Ils permettent de communiquer les informations concernant l'état et le comportement interne du processus. Ainsi, un défaut capteur caractérise une mauvaise image de la grandeur physique à mesurer. Pour les systèmes en boucle fermée, les mesures issues de ces capteurs sont utilisées pour la génération du signal de commande. Par conséquent, l'élaboration du signal de commande est en effet inefficace, si les informations prises en compte par l'algorithme de commande sont erronées et/ou incohérentes. Par conséquent, la présence d'un défaut capteur donne un signal de commande erroné et inefficace.[38]

### II.1.5.3.2 Défauts actionneurs

L'actionneur est un élément de la partie opérative capable de produire un phénomène physique (déplacement, dégagement de chaleur, émission de lumière . . .) à partir de l'énergie qu'il reçoit. Le plus souvent, les actionneurs transforment un type d'énergie en un autre (à titre d'exemple, le cas d'un moteur qui transforme de l'énergie électrique en énergie mécanique).

En conséquence, les défauts actionneurs agissent au niveau de la partie opérative. Ils s'additionnent aux signaux de commandes du système, et engendrent des problèmes liés aux organes qui agissent sur l'état du système.[38]

### II.1.5.3.3 Défauts composants (Défauts système)

Les défauts composants sont des défauts qui affectent les composants du système lui-même. Ce sont les défauts qui ne peuvent pas être classifiés ni parmi les défauts actionneurs ni parmi les défauts capteurs. Ce type de défauts correspond à une dégradation des composants du système par un changement des paramètres internes. La représentation mathématique des défauts composants est souvent difficile à déterminer et demande des essais expérimentaux extensifs.[38]

### II.1.5.4 Caractérisation de défauts

Les défauts sont caractérisés d'une part, par leur modélisation mathématique et d'autre part par leur comportement dans le temps. Les défauts peuvent être classés selon leurs évolutions temporelles. Ils peuvent être brusques, intermittents ou graduels, additifs ou multiplicatif.

♣ **Brusque** : ce type de défaut se caractérise par un comportement temporel discontinu. Cette évolution, si elle ne correspond pas aux évolutions dynamiques normales

attendues pour la variable (changement de consigne), est caractéristique d'une panne brutale de l'élément en question : arrêt total ou partiel de connexion.

♣ **Intermittent** : c'est un défaut caractéristique de faux contact ou de panne

Intermittente des capteurs. Ce type de défaut est un cas particulier de défaut abrupt avec la propriété particulière qu'il revient de façon aléatoire à sa valeur normale.

♣ **Graduel** : c'est un défaut caractéristique de l'usure d'une pièce. Il est très difficile à détecter à cause de son évolution temporelle qui peut être confondue avec une modification paramétrique lente représentant la non-stationnarité du procédé.

## II.2. Armoire électrique industrielle

Une armoire électrique industrielle comporte un tableau électrique qui alimente et contrôle ou une chaîne de montage. En effet, divers éléments du tableau servent un automate industriel installation électrique, comme les fusibles ou encore les interrupteurs. À commander l'armoire industrielle permet également de protéger ces divers éléments de facteurs extérieurs, comme des conditions climatiques rudes ou encore de la poussière. Mais les utilisateurs de ces telles armoires doivent également être protégés de risques divers (ex : incendie). Plusieurs normes de sécurité régissent les coffrets électriques et armoires industrielles.

### II.2.1 Armoires électriques industrielles : hygiène, conformité et sécurité

Quel que soit le domaine ou le secteur auquel appartient une entreprise, elle est présente une armoire électrique industrielle ou de coffrets électriques. Il est nécessairement équipée de notamment des armoires industrielles standards, mais on peut également se tourner vers des environnements dans lesquels les armoires électriques sur mesure, selon les besoins. En fonction de l'hygiène assez strictes (ex : règles d'armoire en question, elle peut être soumise à des règles strictes dans l'environnement pharmaceutique). Ces armoires doivent en effet respecter quelques critères afin de faciliter leur utilisation, tant pour le personnel chargé de les entretenir que pour les installations électriques, la sécurité est un critère sur lequel on ne transige pas. Et en matière de transige pas. Comme toute installation électrique, les armoires sont soumises à des normes de sécurité et il est indispensable de faire attention à ces aspects pour cela qu'est d'assurer la sécurité, de conformité et de qualité. C'est pourquoi, lors d'une installation d'entreprise AENP, pour l'appel à un expert en électricité industrielle, comme l'armoire électrique[39]

### II.2.2 Composition d'une armoire électrique industrielle

Un oncteur, le relais Une armoire électrique est composée de plusieurs éléments comme le disjoncteur, le relais thermique, le fusible ou encore le contracteur. S'ils sont mal entretenus ou non conformes, ces éléments peuvent présenter des risques de sécurité.

éléments peuvent engendrer des dégâts considérables, comme une surchauffe pouvant conduire à un incendie. Dans ce cadre, il convient d'assurer la sécurité des biens afin d'éviter un incendie. Dans ce cadre, il convient d'assurer celles des personnes amenées à utiliser ces armoires industrielles. Elles sont donc soumises à diverses normes et directives qui concernent principalement la sécurité et la compatibilité des machines. Les équipements industriels doivent en effet répondre à certaines règles (cahier des charges, normes [39]).

### II.2.3 Les normes armoire électrique industrielle

Symboles normalisés pour schémas d'installations électriques, locaux soumis à réglementation particulière.

Le présent document a pour objet de faciliter la réalisation de schémas d'installations électriques. En effet ces schémas sont exigés par les normes et les règlements.

La norme NF C 15-100 applicable à tous les travaux d'installations alimentées en basse tension : "L'installation électrique doit faire l'objet d'un schéma ou d'un tableau indiquant notamment : la nature et la constitution des circuits (points d'utilisation desservis, nombre et section des conducteurs, nature des canalisations), → les caractéristiques des dispositifs assurant les fonctions de protection, de sectionnement et de commande". Le décret du 14 novembre 1988 concernant la protection des travailleurs contre les courants électriques, en application du Code du Travail : "Les chefs d'établissement doivent tenir à la disposition de l'Inspecteur du Travail un dossier comportant : un plan schématique..."

Applicable aux établissements recevant du public :

"Des plans doivent comporter les tracés schématiques des organes généraux de protection et de distribution d'électricité haute et basse tension... Lesdits plans, tracés divers et leur présentation doivent être conformes aux normes en vigueur"

Par ailleurs, lors de la mise en service de l'installation électrique de toute construction nouvelle, le distributeur d'énergie électrique doit exiger une attestation de conformité de l'installation aux normes et règlements en vigueur, établie par l'installateur et visée par le CONSUEL.

Or pour les locaux à réglementation particulière, cet organisme ne peut viser l'attestation de conformité que s'il est en possession du rapport de contrôle et du plan ou schéma de l'installation.

Les symboles concernant l'appareillage et les dispositifs de protection indiqués ci-après sont ceux qui ont été adoptés sur le plan international et repris par l'Union Technique d'électricité dans les normes de la série NF C 03-201 à 211.

une armoire aura lieu la normalisation d'est principalement au niveau international qu'CEI, qui permettra de normaliser les différents électrique industrielle, avec la norme él ailleurs les directives de la « Commission 'schémas électriques. Cette norme suit d Electrotechnique Internationale ». La plupart du temps, ces normes inspirent les normes X) et les normes nationales. -EN 61XXX ou EN ISO 12100 'européennes (ex : EN 60XXX Concernant les normes CEI, voici celles qui sont principalement utilisées

- La norme CEI 60617 : normalise les schémas et symboles graphique en électricité industrielle
- régit les documents et les données concernant : La norme CEI 61346 et CEI 61355 électricité'l
- régit les techniques et les règles relatives au : 212-La norme CEI 82045 et ISO 10303 information contenue dans les différents documents techniques'traitement de l
- habitation'ires électriques en locaux dLa norme française pour les armo.

Concernant les armoires électriques visant à être installées dans des habitations, elles sont Les armoires industrielles, plus .100-régies par la norme électrique française NF C 15 .re fixées au sol et/ou au mur volumineuses, sont prévues pour être [39]

### II.2.4 une armoire électrique'les composants d

interrupteur différentiel obligatoire Les 'Les modules de protection différentielle avec 1 parafoudre Le modules de protection individuelle avec les disjoncteurs divisionnaires et le bornier de raccordement à la terre.[40]

Les peignes électriques

Les modules complémentaires

#### II.2.4.1 Les interrupteurs différentiels

L'interrupteur différentiel est un dispositif de protection intégré sur le tableau. Son rôle est de surveiller constamment le courant qui parcourt l'installation électrique de la maison. S'il détecte une différence, c'est qu'il y a ce qu'on appelle



Figure II 5 Les interrupteurs différentiels

### II.2.4.2 Le contacteur

Un contacteur est un appareil électrotechnique destiné à établir ou interrompre le passage du courant, à partir d'une commande à distance, électrique ou pneumatique

Figure II 6 Le contacteur



### II.2.4.3 Les fusibles

Le fusible ou coupe-circuit à fusible est un dispositif de sécurité conçu pour couper le courant électrique lors d'une surcharge ou d'un court-circuit



Figure II 7 Les fusibles

### II.2.4.4 Les relais

Un relais est un interrupteur à commande électrique. Ils utilisent généralement un électroaimant (bobine) pour faire fonctionner leur mécanisme de commutation mécanique interne (contacts). Lorsqu'un contact de relais est ouvert, cela mettra sous tension un circuit lorsque la bobine est activée.



Figure II 8 Les relais

### II.2.4.5 Protection différentielle

Tout équipement ou système électrique doit être doté d'un appareil de protection des personnes à **DDR** (disjoncteur ou interrupteur) suivant le schéma de liaison à la terre auquel il est soumis. [41]

Les protections des biens et matériels sont dimensionnées en fonction des récepteurs à alimenter.



Figure II 9 Protection différentielle

### II.2.5. Tableau général basse tension TGBT

ou alors tableau de distribution est un simple coffret En fonction de la taille du logement, le une installation bien plus complexe) un local (, appelée la plupart du temps Tableau général ci peut présenter, selon sa configuration, un système de coffrets -basse tension ) TGBT(. Celui armoires'et d.[42]

### II.2.6. Dimensionner une armoire électrique

-chronologie ci une installation électrique peut se faire suivant la'Le dimensionnement d origine du circuit. 'circuit à l-après : Données réseau Calcul de la puissance du courant de court emploi pour 'puissance à transporter. Choix des protections déterminer les courants d Définir la chaque départ. [42]

### II.2.7. Fonctionne un tableau électrique

Un tableau électrique fonctionne comme un centre de distribution. Il représente le point de il regroupe en un seul endroit. Il 'un logement qu's circuits électriques ddépart de tous le .alimente en électricité tous les appareils électriques ainsi que les prises de courant[43]

Un tableau électrique est tout simplement un boîtier destiné à recevoir différents types même est composée de plusieurs éléments -appareillage. La structure du boîtier lui'd notamment.[44]

### II.2.8. Lune armoire électrique'e rôle d

Faisant partie du matériel pour l'électricité domestique ou industrielle, l'armoire résistant destiné à protéger les dispositifs électriques et à distribuer le électrique est un boîtier courant vers les différents appareillages et systèmes branchés sur votre réseau.[45]

### II.2.9. Larmoire électrique'e matériau de l

armoire électrique Les armoires et les coffrets sont disponibles dans les 'Matériau de l il soit en plastique ou en métal, étanche 'magasins de bricolage ou les magasins spécialisés.Qu

ez trouver tout ce que une porte opaque, vous pourr'une fenêtre transparente ou d'ou non, doté d .vous imaginez comme coffret [46]

### **II.2.10. Lune armoire électrique'a taille d**

En fonction de l'application (dans le cadre d'un événement plein air, un chantier, la armoire 'IP requis de l la taille, le matériau et le niveau de protection «(...construction etc .électrique différent. Allons de la plus petite des installations électriques au plus complet [47]

### **II.2.11. Nune armoire électrique industrielle'ormalisation d**

une armoire 'normalisation d aura lieu la'est principalement au niveau international qu'C électrique industrielle, avec la norme électrique CEI, qui permettra de normaliser les différents ailleurs les directives de la « Commission 'schémas électriques. Cette norme suit d .« Electrotechnique Internationale[48]

iers concernés par des obligations de vérification de l'installation électrique sont Les prem les établissements recevant du public et les locaux d'entreprises accueillant des salariés. Mais tout risque d'incendie tout un chacun peut aussi vérifier son installation électrique pour éviter .ou garantir la protection de la maison lorsqu'une alarme est par exemple sous tension

### **II.2.12. Intervenir sur le tableau électrique**

Les principales actions de vérification sont à réaliser sur le tableau électrique gérant le du bâtiment. En général, ce dispositif est placé dans un placard dans l'entrée ou dans un réseau garage. L'attention doit porter sur la présence d'interrupteurs qui permettent d'éteindre ou de heur permet aussi de se mettre sous tension les différents appareils de la maison. Ce déclenc protéger contre les pannes, et est donc un élément indispensable de son installation électrique. fusibles sont en bon état et pourront réagir en -Il est aussi important de s'assurer que les porte esure consiste à vérifier que les prises électriques cas de problème. Enfin, la dernière m comportent une liaison avec la terre. Cette tige qui ressort des installations ne doit être ni tordue ni cassée, au risque de mettre en panne le système complet [49]

#### **II.2.12.1 électrique Vérifier son installation**

de l'installation Il est important de tenir à jour une attestation des actions de vérification électrique. Car avant de se lancer dans des opérations concrètes, un coup d'œil sur les documents des actions de mesures et des essais peuvent «techniques mis à disposition est conseillé. Ensuite être réalisés. Tous ces résultats ainsi que les problèmes constatés doivent être recensés précisément .[49]

## II. 2.12.2 Utiliser un testeur électrique

Le testeur électrique, également appelé multimètre, est un outil utilisé dans différents domaines. En principe, cet appareil permet de mesurer la résistance, la tension électrique, l'intensité et la continuité d'autres éléments. Mais aujourd'hui, il faut savoir qu'il existe d'autres modèles de multimètres sur le marché permettant de mesurer d'autres éléments. Donc... En effet, ils peuvent servir à mesurer la fréquence, le son, la lumière, la température pour bien choisir, et surtout pour bien utiliser votre testeur électrique, voici quelques points essentiels à savoirs [50]

### II. 2.12.1. 1 Mesurer la tension

Mesurer la tension électrique est important lorsqu'on envisage d'installer un nouvel équipement ou appareil électrique. Il en est de même quand on recherche une défaillance au ci -est que la tension est mesurée en volts. Celle qu'il faut savoir c'est qu'elle représente la force qui déplace les électrons dans un circuit fermé. Dans les maisons, la tension est généralement de 110 et 220 volts alternatifs. Et cela, avec une variation de +/- une prise électrique. Il suffit de placer les pointes de touches de tension peut être mesurée à partir d'une prise électrique. Il suffit de placer les pointes de touches de tension peut être mesurée à partir d'une prise électrique. Il suffit de placer les pointes de touches de tension peut être mesurée à partir d'une prise électrique. Il suffit de placer les pointes de touches de tension peut être mesurée à partir d'une prise électrique. C'est avoir un multimètre en main. Mais avant de faire cela, il faut d'abord s'assurer d'être dans la borne (tension alternative V ~ (ACV)). L'écran affichera alors la tension actuelle du circuit en volts. [50]

### II.2.12.1. 2. Mesurer la continuité

Il arrive que dans une maison, le courant n'arrive pas dans certaines sources et entrées. Il arrive que dans une maison, le courant n'arrive pas dans certaines sources et entrées. Pour cela, le testeur électrique nous permet aussi de détecter les branchements défectueux. Pour savoir si un câble est coupé, le testeur électrique n'affichera donc pas de données. Cela indique alors que le courant est interrompu. Mais il arrive parfois que certains éléments émettent un bip. Dans ce cas, il se pourrait que le câble soit intact, et que le problème vient de l'équipement. Cela peut être une ampoule ou d'autres appareils.

### II.2.12.1.3 Mesurer la résistance

La résistance électrique est la mesure de l'opposition d'un objet ou d'un matériau au passage du courant. Cette mesure est exprimée en ohms. Ce concept de résistance est surtout important dans le domaine de l'électronique plutôt qu'en électricité. Par conséquent, le testeur électrique permet alors de vérifier si une résistance est en bonne ou en mauvaise condition. Ou encore si elle est hors service. Avec cet outil, on peut aussi mesurer la continuité. Car si un objet possède une faible résistance, le testeur le prendra comme continuité.

#### II.2.12.1.4. Mesurer l'intensité

L'intensité représente la consommation d'un appareil. Celle est mesurée en ampères (A). En intensité, il faut placer les pointes du testeur comme indiqué dans le manuel. Pour mesurer l'effet, les méthodes peuvent être différentes en fonction du modèle de testeur. Certains modèles peuvent utiliser une pince ampérométrique à la place des pointes de touche. On peut mesurer l'intensité d'un élément en plaçant le testeur en série avec ce dernier. Par exemple si on mesure l'intensité d'une lampe, on doit placer les pointes de sorte qu'elles fassent partie d'un des câbles du circuit. [50]

#### II.2.12.3 Choisir un testeur électrique

Le choix d'un testeur électrique implique une bonne notion d'électricité et en choisir un testeur électrique implique une bonne notion d'électronique. Le choix d'un testeur électrique est un outil polyvalent, il faut alors considérer certains critères électroniques. Sachant que certains critères sont essentiels. La résistance par exemple est un point important qui caractérise cet appareil. Celle-ci indique la précision avec laquelle l'instrument peut effectuer la mesure. Au moyen de la résolution, il est possible de déterminer les petits changements dans le signal de mesure. La précision d'un testeur est généralement exprimée en pourcentage de la lecture. Le type d'affichage est aussi une option à considérer. On distingue deux types d'affichage : l'affichage numérique et l'affichage analogique. Si on recherche la précision et une résolution optimale, le testeur à affichage numérique est le plus adapté. De son côté, l'affichage analogique est moins précis, mais s'avère être plus résistant. [50]

#### II. 2.12.4 Câbler une armoire électrique

Utiliser un fil électrique de section adaptée pour câbler chaque interrupteur différentiel vers les borniers d'alimentation. Cette option est plus indiquée lorsqu'aucun disjoncteur n'est présent. Utiliser un peigne de raccordement électrique vertical puisque les fils auront un accès plus facile aux borniers. [50]

##### II. 2.12.4.1 Fil pour alimenter un tableau électrique

Si la longueur du câble est inférieure à 30 mètres et la puissance du courant est de : 45 A, la section de câble sera de 16 mm<sup>2</sup>, la section de câble sera de 10 mm<sup>2</sup> et la section de câble sera de 25 mm<sup>2</sup>. [50]

### II.3. L'autorisation et Habilitation

Quand on commence à s'intéresser à la prévention, il arrive toujours un moment où on entend parler d'habilitation, d'autorisation ou de formation. Il n'est pas toujours simple de voir

la différence entre ces termes car suivant les métiers, on n'utilise pas les mêmes mots pour la même chose.

Essayons de nous pencher sur chaque mot avec sa définition et de voir les applications dans les différents domaines de l'artisanat.[51]

### **II.3.1. La formation**

Le salarié est formé à sa demande ou à la demande de son employeur. La formation professionnelle permet à un salarié de développer ses compétences et d'évoluer au sein de son entreprise en changeant de poste ou en se diversifiant. Dans le secteur de la prévention, il existe de nombreuses formations comme la formation SST (sauveteur secouriste du travail), TMS (troubles musculo-squelettiques), ou encore formation au risque chimique.

La formation est validée par un organisme formateur. Pour que la formation soit reconnue, il faut qu'elle soit prodiguée par un organisme habilité à dispenser telle ou telle formation. Il est possible de retrouver une grande partie des organismes habilités à faire passer les formations dans le secteur de la prévention sur le site de l'INRS.

L'employeur peut aussi former lui-même ses salariés, mais en cas de problèmes (accident ou incident), il faut qu'il prouve qu'ils ont été correctement formés. C'est pour cela qu'il est souvent plus facile de faire former ses salariés par un organisme habilité. On est ainsi certain qu'ils ont reçu les bonnes informations.

En fin de formation, l'organisme habilité délivre une attestation de formation qui certifie que le salarié a reçu les bonnes informations.

Dans l'artisanat, on parle souvent des formation CACES, SST, PRAP (prévention des risques liés à l'activité physique), risque chimique...etc. Pour utiliser ces nouvelles compétences, le salarié doit souvent être autorisé par son employeur.

La partie théorique de la formation peut être réalisée à distance. Cette formation peut prendre différentes formes (e-learning, digital Learning, formation à distance, etc.), mais doit respecter les différents textes qui encadrent la formation ouverte et/ou à distance (FOAD). En particulier, l'organisme de formation doit prévoir un déroulé pédagogique adapté, une assistance technique et pédagogique appropriée pour accompagner le stagiaire dans le déroulement de son parcours, une information du stagiaire sur les activités pédagogiques à effectuer à distance et leur durée moyenne et une organisation spécifique (compétences de formateurs, moyens techniques à dispositions...).

La partie pratique doit ensuite avoir lieu en présentiel et aussi tôt que possible. Si un délai trop long se déroule entre la partie théorique et la partie pratique, il est recommandé que le

stagiaire passe (ou repasse) une évaluation théorique juste avant la partie pratique, de façon à s'assurer que celui-ci a bien assimilé les parties théoriques avant de procéder à la partie pratique.

En cas de recours à la formation à distance pour la partie théorique, une attention particulière doit être portée aux points suivants :

Une simple visioconférence pourra difficilement être assimilée à une formation si des moyens complémentaires (pédagogie, mise à disposition des ressources, encadrement...) ne sont pas mis en place. Une visioconférence pourra très vite se transformer en "conférence" ou "sensibilisation" et ne sera pas adaptée à l'hétérogénéité des stagiaires. Il faudra donc limiter le nombre de stagiaires, s'assurer au fur et à mesure de l'avancement de la formation que les savoirs sont acquis, s'assurer de pouvoir accompagner correctement chaque stagiaire (tuteur de formation pour répondre à ces questions), etc.

En ces temps où de nombreuses entreprises ont recours au chômage partiel, il est rappelé que la formation doit avoir lieu pendant le temps de travail et doit être financée par l'employeur. Les stagiaires ne peuvent donc pas réaliser la formation sur leur temps de chômage partiel, mais uniquement pendant leurs heures travaillées.

Si la formation à distance rassemble les stagiaires en un même lieu (dans une entreprise par exemple), les gestes barrières et les consignes gouvernementales liées à la pandémie doivent être respectés.[51]

### **II.3.2. L'autorisation**

L'autorisation est délivrée par l'employeur. Cela implique que l'employeur autorise son salarié à exercer telle ou telle activité et qu'il reconnaît qu'il a les compétences pour réaliser le travail qu'il lui a demandé. Elle reconnaît aussi l'aptitude médicale du salarié à pouvoir effectuer les tâches qui lui ont été demandées. C'est pour cela que lorsque le salarié effectue sa visite médicale, il doit présenter les autorisations délivrées par son employeur et surtout parler de ses activités au sein de l'entreprise.

Elle est obligatoire pour toutes les conduites d'engins comme la mini-pelle, la pelle hydraulique, le tracto-pelle, le chariot élévateur... etc. En fait elle est obligatoire à la suite de toutes les formations CACES.[51]

Elle peut être intégrée au document de validation de la formation (CACES par exemple). L'employeur peut aussi créer un document propre à chaque salarié, qui résume toutes les autorisations que le salarié possède et qu'il doit toujours avoir sur lui.

Sur l'autorisation, il faut mentionner le nom du salarié, le nom de l'employeur, les catégories d'engins que le salarié peut conduire, le fait qu'il soit apte médicalement, et les sites

sur lesquels l'autorisation est valable. L'autorisation doit être signée par l'employeur et l'employé.

### **II.3.3 Habilitation**

Ce terme est souvent employé quand on parle d'habilitation électrique, mais il peut aussi être employé pour parler d'un organisme qui peut être habilité à former des personnes sur certains sujets.

L'habilitation est la reconnaissance par l'employeur de la capacité d'une personne placée sous son autorité à accomplir en sécurité (vis à vis du risque électrique le plus souvent) les tâches qui lui sont confiées. L'habilitation du travailleur n'est pas directement liée à sa position hiérarchique, ni à sa qualification professionnelle

La délivrance d'une habilitation par l'employeur ne suffit pas à le dégager de sa responsabilité. L'employeur est tenu de respecter l'ensemble des règles du code du travail.

L'habilitation n'autorise pas, à elle seule, un titulaire à effectuer de son propre chef des opérations pour lesquelles il est habilité. Il doit en outre être désigné par son employeur pour l'exécution de ces travaux. L'affectation à un poste de travail peut constituer une désignation implicite.

Nous avons ici détaillé les différences entre ces 3 termes. J'espère que ces explications ont été claires, dans tous les cas, si vous avez des questions n'hésitez pas à me contacter.

Les différents symboles d'habilitation sont définis par la norme NF C18-510. Ces symboles sont représentés de manière conventionnelle par deux ou trois caractères alphanumériques, et si nécessaire un attribut.

La formation préalable à l'habilitation électrique peut-elle être dispensée à distance

Les formations préalables à l'habilitation électrique comprennent deux parties : une partie théorique pour l'acquisition des savoirs et une partie pratique pour l'acquisition des savoir-faire.[51]

#### **II.3.3.1 L'habilitation électrique**

L'habilitation est la reconnaissance, par l'employeur, de la capacité d'une personne placée sous son autorité à accomplir, en sécurité vis-à-vis du risque électrique, les tâches qui lui sont confiées. Avant d'être habilité, le travailleur doit avoir été formé et avoir été déclaré apte par le médecin du travail.

L'habilitation des travailleurs s'appuie sur les dispositions du Code du travail et sur les règles techniques de la norme française NFC 18-510 de janvier 2012 « Opérations sur les

ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique. – Prévention du risque électrique ».

À chaque type d'habilitation correspond un symbole comprenant des lettres, des chiffres et si nécessaire un attribut (par exemple B2V pour un chargé de travaux du domaine basse tension et pouvant travailler dans le voisinage de pièces nues sous tension).

L'habilitation électrique complète l'ensemble des règles du code du travail régissant la conception et l'utilisation des installations électriques applicable à l'employeur.

L'habilitation n'autorise pas, à elle seule, un titulaire à effectuer de son propre chef des opérations pour lesquelles il est habilité. Il doit être désigné par son employeur pour l'exécution de ces opérations. L'affectation à un poste de travail peut constituer une désignation implicite.

L'analyse de l'activité qui sera confiée au travailleur (type d'opération, fonction du travailleur, caractéristiques des installations et des appareillages...);

La prise en compte des compétences et des aptitudes du travailleur devant être habilité : évaluation de ses compétences techniques (diplômes, titres certificats professionnels, expérience) et de ses aptitudes (expérience, savoir-être, aptitude médicale...);

La vérification de l'adéquation entre l'activité, les compétences et les aptitudes du travailleur.

La formation préparatoire à l'habilitation : l'objectif de la formation préparatoire à l'habilitation est de faire acquérir une compétence professionnelle dans le domaine de la sécurité électrique pour l'exécution des opérations et les mesures d'urgence à prendre. [52]

## **II.4 Le schéma électrique**

Un schéma électrique est un dessin qui représente un simple circuit électrique ou une installation électrique complète

### **II.4.1 Des symboles graphiques**

Représentent les éléments de cette installation mais aussi les connexions qui les relient fonctionnellement.

Nous aurons donc, par exemple, des symboles pour représenter un voyant lumineux, un interrupteur et des fusibles. Nous avons aussi des symboles pour représenter des fils électriques qui serviront à relier notre voyant avec son interrupteur et ses fusibles.

Nous avons donc ici une représentation schématique d'une petite installation électrique.

Pour représenter les lignes électriques qui alimentent nos installations électriques nous parlons alors de réseau électrique. Un réseau électrique (pour le transport de l'énergie électrique)

sera composé de générateurs (centrales de production d'énergie électrique), de transformateurs, de câbles, de poteaux, de points de connexion ou d'interconnexion et des dispositifs de protection pour chacun des éléments précités.

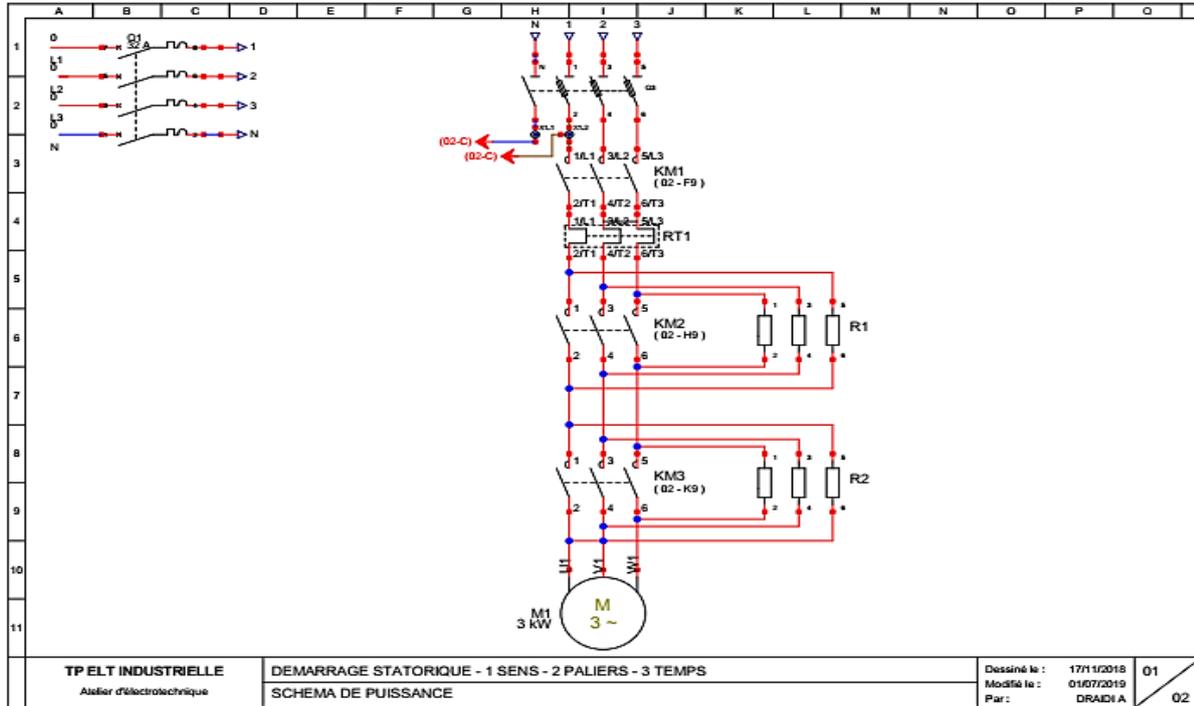


Figure II 10 Exemple d'un schéma électrique

Schéma explicatif destiné à faire comprendre en détail le fonctionnement de l'équipement, il doit également permettre le câblage et aider lors de dépannage éventuel. Il représente par des symboles un équipement avec les connexions électriques ou autres liaisons qui interviennent dans son fonctionnement

### II.4.2 Prescriptions générales

Tous les symboles utilisés dans les divers documents du dossier technique sont choisis parmi ceux figurant dans les règles en vigueur, dont un large extrait est résumé dans la notice "Symboles graphiques (référence NT 60100 F). Ces symboles sont à représenter tels que les appareils, ou leurs éléments se trouvent en position non excités. Le déplacement de l'élément mobile s'effectuant, par convention, de la gauche vers la droite, ou, de bas en haut.

Auprès de chaque symbole doit figurer un repère qui permet d'identifier l'appareil dans le schéma des circuits et les autres documents. Ce repère doit être conforme aux règles en vigueur, rappelées dans la notice « Repères d'identification normalisés » (référence NT 60107F).[54]

### II.4.3 Dossier technique d'un équipement électrique

Ce dossier comprend principalement, Suivant nécessité :

- une page de garde décrivant la liste des documents avec leurs numéros de folios, et leur indice.
- le schéma fonctionnel (tel qu'ordinogramme, organigramme, Logigramme, ...).
- le schéma des circuits (puissance, et commande, signalisation),
- le plan de disposition de l'appareillage électrique,
- la notice, ou diagramme, de fonctionnement. • le schéma des bornes, celui des connexions extérieures.
- la nomenclature du matériel électrique

Schématisme des circuits électriques industriels

Circuit industriel de puissance alimentation externe

Branchement normalisé au réseau (classe I ⇒conducteur PE)

Borniers pour les entrées/sorties appareils de protection indispensables (dimensionnés pour les récepteurs)

Contexte d'utilisation du schéma élément du dossier électrique élaboré par le concepteur utilisé par le fabricant, les utilisateurs, les réparateurs... [55]

Normalisation (symboles, repérage) nécessaire pour la compréhension.

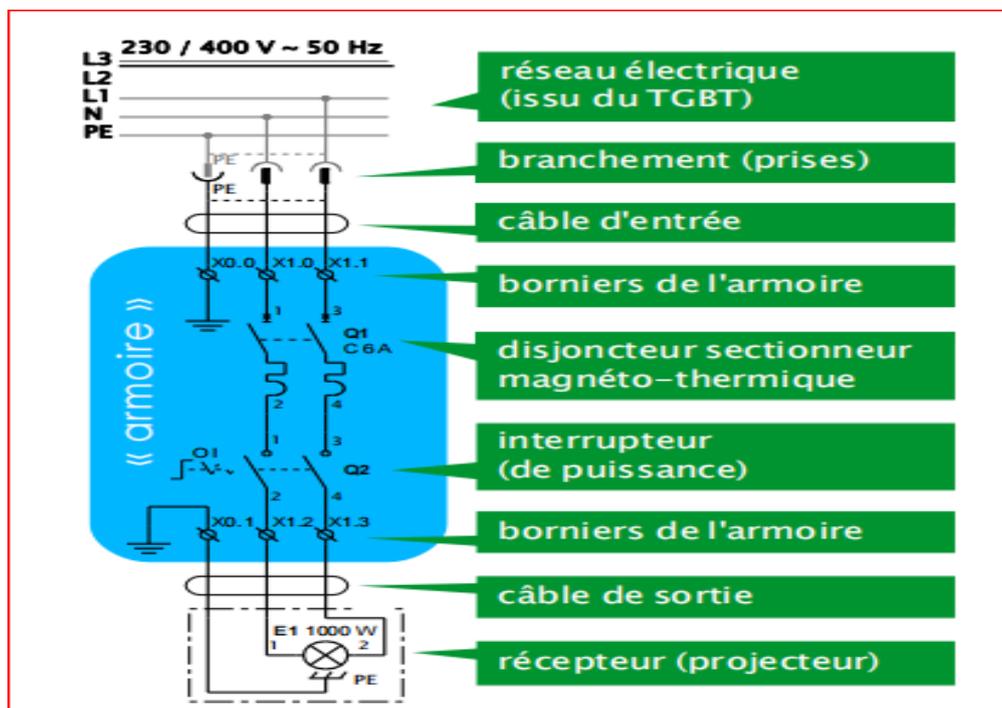


Figure II 11 Circuit industriel de puissance

#### II.4.4 Repérage d'un schéma

Étude technologique et pratique du câblage des circuits électriques industriels, centre de formation kazakhstano-Français aux métiers de l'énergie, de l'électricité et de la maintenance des systèmes automatisés.

#### II.4.5 But d'un schéma électrique

- Expliquer le fonctionnement de l'équipement (il peut être accompagné de tableaux, de diagrammes et chronogrammes),
- Fournir les bases d'établissement et de réalisation physique de l'installation,
- Faciliter les essais (mise en service),
- Faciliter la maintenance et les dépannages plus rapidement.[57]

#### II.4.6 Principales règles de schéma électrique et de câblage

Au cours de l'étude du thème qui vous est proposé et que vous présenterez au BTS vous allez être amené à produire des schémas électriques répondant aux normes de sécurité. Toutes les mesures de sécurité ont leur importance mais certaines règles de base doivent être connues par cœur.[57]

#### II.4.7 Consignation / Déconsignation

Toute armoire électrique doit pouvoir être consignée et déconsignée. En tant que titulaire d'une habilitation BR (qui vous sera délivrée par votre futur employeur) vous êtes habilité à intervenir sur des équipements électriques et procéder entre autres à des opérations de consignation et déconsignation pour vous même. En tête de l'équipement on doit trouver un Signalisation.

Les différents états de l'équipement doivent être signalés par une colonne lumineuse dont les couleurs ont une signification définie :

- Verrine incolore : présence tension sur le système.
- Verrine orange : système consigné.
- Verrine rouge : système déconsigné.[57]

#### II.4.8 Alimentation du coffret

Le coffret électrique doit être alimenté par un câble 5 conducteurs (3 phases + neutre + PE) ou 4 conducteurs (3 phases + PE) raccordé directement en amont de l'interrupteur sectionneur général sans passer par le bornier. L'entrée du câble d'alimentation dans le coffret doit être faite par presse-étoupe. Le passage de ce câble dans les goulottes est interdit et son identification doit être claire.[57]

### II.4.9 Couleur des conducteurs

Suivant la fonction et la nature du réseau dans lequel le conducteur est placé, celui-ci a une couleur définie par la norme :

- **Noir** : circuit de puissance (alternatif et continu)
- **Rouge** : circuit de commande (alternatif)
- **Bleu** : circuit de commande (continu)
- **Bleu clair** : neutre des circuits de puissance (quand ils ne sont pas utilisés pour la mise à la terre).
- **Orange** : circuit de commande en permanence sous tension
- **Vert/jaune** : protection électrique.[57]

### II.4.10. Repérage des conducteurs

Chaque conducteur doit porter un repère correspondant à celui du schéma électrique.

#### II.4.10.1. Repérage équipotentiel

C'est le plus simple à mettre en œuvre. Tous les conducteurs toujours soumis au même potentiel portent un même numéro. Le numéro change lorsqu'il y a possibilité d'ouverture du circuit. [57]

#### II.4.10.1. Repérage dépendant du matériel

La méthode consiste à affecter aux conducteurs les numéros de repères donnés aux matériels par les constructeurs. Un adressage est nécessaire pour ne pas confondre les conducteurs raccordés sur du matériel similaire. [57]

## II.5 Risques électriques

Un risque électrique peut se définir comme une situation dangereuse où un travailleur pourrait faire un contact électrique avec de l'équipement ou un fil sous tension dont le choc pourrait lui causer une blessure ; et/ou

La possibilité d'infliger au travailleur une brûlure de coup d'arc, une brûlure thermique ou une blessure par souffle.

### II.5.1. Des contacts

Avec une pièce conductrice portée à un potentiel différent de celui de la personne exposée.

### II.5.2 Des amorçages

Qui provoquent, selon la puissance électrique en jeu, des étincelles ou des arcs électriques (projection de particules en fusion).

Des courts circuits : dont les effets (effet de souffle et thermique) sont également liés à la puissance électrique en jeu.

### **II.5.3 Effet du risque électrique sur les personnes**

- L'électrocution : décès
- L'électrisation : réaction du corps due à un contact accidentel avec l'électricité (choc électrique)

### **II.5.4 Prévention contre le risque électrique :**

#### **II.5.4.1 Protection contre les contacts directs**

La réglementation définit 3 règles de protection contre les contacts directs : L'éloignement, l'isolation (un matériau isolant se plaçant entre les parties conductrices et la personne), la pose d'obstacles L'obstacle « en matériau conducteur ou isolant » placé entre la personne et les pièces nues sous tension.

#### **II.5.4.2 Protection contre les contacts indirects**

Le contact indirect avec un appareil électrique sous tension est l'un des risques électriques les plus répandus, et peut avoir des conséquences graves, telles que l'électrocution ou l'électrisation. Dans cet article, Promotelec vous explique les règles à respecter pour assurer la protection contre les contacts indirects.

- o Protection sans coupure de l'alimentation

Très Basse Tension de sécurité, isolation renforcée, liaisons équipotentielles

- o Protection par coupure automatique de l'alimentation

Interconnexions et mise en terre des masses avec coupure automatique de l'alimentation.

La mise hors tension de l'installation se fait différemment selon les schémas des liaisons (régimes de neutre).

## **II.6 Conclusion**

Les électriciens de maintenance sont responsables de l'entretien du système électrique. Ils sont tenus d'inspecter régulièrement, d'effectuer l'entretien de routine, d'effectuer des réparations et de réparer le câblage défectueux si nécessaire. Ils peuvent également être appelés à remplacer des appareils électriques.

Pour réussir en tant qu'électricien de maintenance, vous devez posséder des compétences de haut niveau en résolution de problèmes, une vaste expérience de travail avec des systèmes électriques industriels et de bonnes compétences en communication. En fin de compte, un électricien de maintenance de haut niveau assure le bon fonctionnement du système électrique d'un bâtiment et résout les problèmes rapidement et efficacement.

Responsabilités de l'électricien de maintenance :

Inspecter régulièrement les systèmes électriques tels que le câblage, les luminaires et les appareils.

Identifier les défauts ou les dangers.

Dépannage des pannes du système.

Examiner les plans pour comprendre le placement du câblage.

Test des systèmes électriques avec des oscilloscopes, des voltmètres et des ohmmètres.

Effectuer des réparations d'entretien sur des installations anciennes ou défectueuses.

Répondre aux demandes de panne.

Fournir des suggestions pour le remplacement de l'équipement.

Rédaction de rapports de maintenance électrique.

Respect des normes de sécurité et de performance.

Exigences relatives à l'électricien de maintenance :

Diplôme d'études secondaires ou GED.

Certificat de qualification d'électricien.

Expérience professionnelle confirmée en tant qu'électricien de maintenance.

Connaissance des systèmes électriques industriels et du Code national de l'électricité.

Bonnes compétences en résolution de problèmes.

Physiquement fort et capable de rester debout pendant de longues périodes.

Bonnes compétences en communication.

---

---

# *Chapitre 3*

*Contrôle d'un Armoire*

*Electrique à Distance avec un*

*Système de l'Industrie 4.0*

---

---



Au cours de la dernière décennie, la baisse du prix des A.P.I et des micro-ordinateurs a modifié sensiblement le domaine d'emploi des A.P.I. Au déterminent de la logique câblée et des microprocesseurs. Les produits de type cartes à microprocesseurs n'ont pas eu les développements espérés. [60]

L'électricité 4.0 est une notion couplant l'électricité, le numérique, la connectivité et le software pour permettre un meilleur usage de l'énergie au service du développement durable. L'électricité et le numérique sont la clé pour réduire l'empreinte carbone et l'[IoT](#) en est au cœur puisque cette technologie permet de digitaliser les assets et d'améliorer leur efficacité énergétique. Dans notre nouveau hub à énergie positive dédié à l'innovation, IntenCity, situé à Grenoble, nous avons évalué que le coût supplémentaire de l'instrumentation n'est que de 5%, alors que les économies d'énergie peuvent atteindre 45% si on déploie de l'IoT dans toutes les pièces, par des capteurs de présence, de température, etc., et que l'on automatise la gestion technique du bâtiment ([GTB](#), *ndlr*). Notre enjeu chez Schneider Electric est de faire en sorte que le bâtiment soit au service des usages. Pour rendre cela possible, il est indispensable de connecter le tableau électrique. Notre objectif à terme est de connecter 100% de nos tableaux. [61]

## III.2. Notion de système automatisé

### III.2.1. Point de vue historique

L'évolution des systèmes automatisés s'est faite en trois temps avec deux grandes ruptures. Chaque temps correspond à un type d'époque et à un type de logique de pensée. Ainsi on passe d'une vision imitative (Imitations des vivants au travers d'automates) à une vision mécaniste dans les années 50 (Opérationnalisation des machines, la machine remplace l'homme dans les tâches difficiles et répétitives, Ford) pour terminer vers une vision actuelle systémique (c'est l'ère de l'intelligence artificielle naît de la cybernétique de Wiener, la machine réfléchie, analyse et s'adapte, la spécialisation à fait place à la polyvalence et à la capacité d'adaptation), [62].

### III.2.2 Point de vue technique

La fonction globale d'un système automatisé est une modification sur l'environnement pour laquelle de l'énergie est mobilisée. Sa finalité est d'apporter une valeur ajoutée à la matière d'œuvre (énergie, information, matière) qui est mise en jeu. Les applications sont vastes :

industrielles, environnement, domotique (système de régulation et de sécurité), gestion à distance, [63].

### III.2.3 Point de vue économique et social

Les systèmes automatisés ont un impact économique très important dans le monde industriel (gain de temps dû à la robotisation, meilleure productivité, rendement optimisé...), mais aussi ils amènent des incidences sociales fortes autant, pour le travailleur (évolution des métiers, responsabilité accentuée, sécurité renforcée, imagination accrue, adaptabilité par la polyvalence), que pour le citoyen (amélioration des tâches ménagères, communication variées, commande à distance...), [64].

### III.3. Définition de l'API

Un automate programmable industriel (ou API) est un dispositif électronique programmable destiné à automatiser des processus tels que la commande de machines au sein d'une usine et à piloter des robots industriels par exemple. Il reçoit des données par ses entrées, celles-ci sont ensuite traitées par un programme défini, le résultat obtenu étant délivré par ses sorties. Ce cycle de traitement est toujours le même, quel que soit le programme, néanmoins le temps d'un cycle d'API varie selon la taille du programme et la puissance de l'automate.

C'est l'unité centrale qui gère l'automate programmable : elle reçoit, mémorise et traite les données entrantes et détermine l'état des données sortantes en fonction du programme établi. [65]

### III.4. Architecture d'un automate programmable

#### III.4.1. Aspect extérieur de l'automate programmable

Aspect extérieur peuvent être de type compact ou modulaire.

##### De type compact

On distinguera les modules de programmation (LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, MILLENIUM de Crouzet ...) des micros automates. Il intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques ...) et recevoir des extensions en nombre limité. [66] Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.

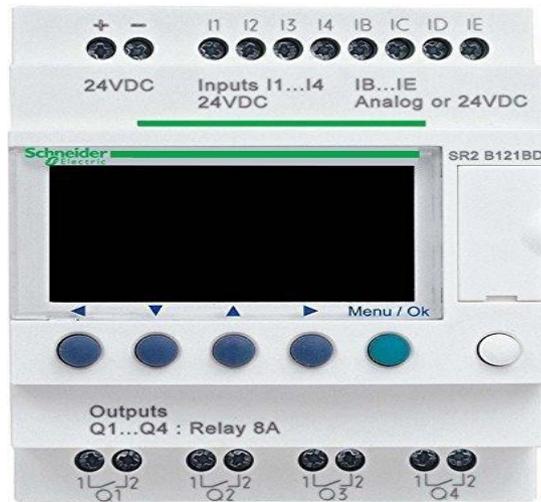


Figure III 1 API Type compact Schneider (Zelio)

De type modulaire

Le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs).

Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires. [66]



Figure III 2 API type modulaire Schneider (Zelio)

II.4.2. Structure interne des automates programmables :

### III.4.2.1. L'unité centrale

C'est l'ensemble des dispositifs nécessaires en fonctionnement logique interne de l'API, c'est le cœur à automate base de microprocesseur, elle réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation ...).

Cœur de l'appareil, dans l'unité central, ce n'est sans doute pas, paradoxalement, Le point le plus caractéristique, mais il conditionne tout de même largement les performances. [63]

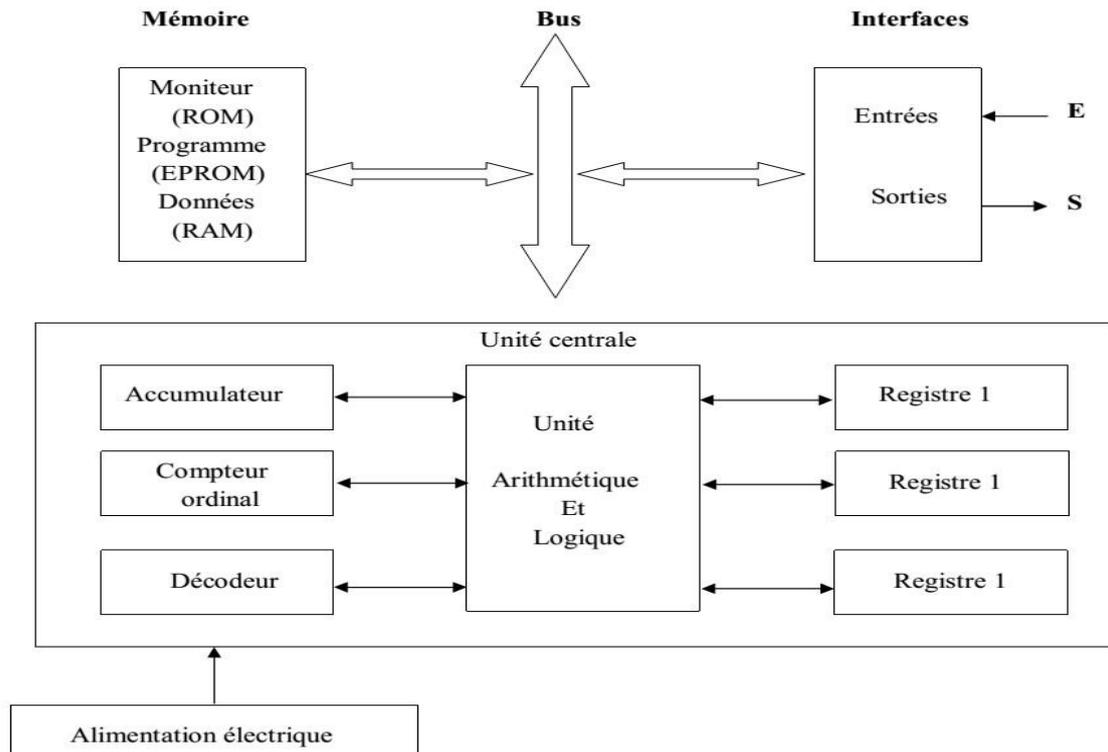


Figure III 3 Structure interne de l'API

Les premières API étaient équipées de processeurs spécifiques, à cycle de scrutation unique : on exécutait en permanence un programme gérant essentiellement des variables

Binaires. On est passé ensuite à des processeurs plus performants, issus du monde de l'informatique. Cette évolution a permis de baisser les coûts, d'accroître les possibilités opérationnelles. Les processeurs <généralistes> étant toutefois ponctuellement moins efficaces que les spécialisés, on peut penser que c'est aussi une des raisons pour laquelle les progrès (en temps de calcul par exemple) sur un ensemble d'opérations de base ont été moins spectaculaires qu'en informatique générale, avec une conséquence heureuse pour les utilisateurs : une longévité supérieure du matériel.







Le langage SFC (Sequential Function Chart), ou GRAFCET, est un langage graphique utilisé pour décrire les opérations séquentielles. Le procédé est représenté comme une suite connue d'étapes (états stables), reliées entre elles par des transitions. Une condition booléenne est attachée à chaque transition.

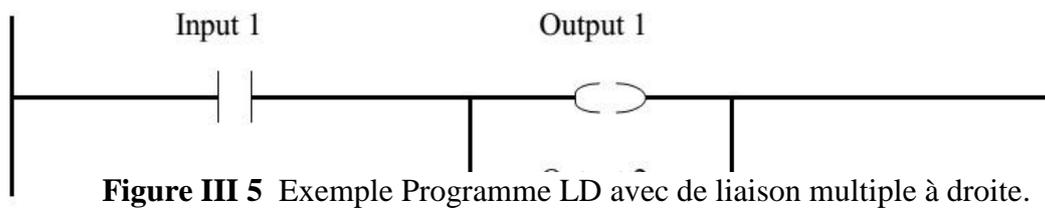
Les actions dans les étapes sont décrites avec les langages ST, IL, LD ou FBD, [69].

#### ✚ Structure de base

Nous pouvons avoir dans un cycle machine complet avec des séquences simultanées, ou des choix de séquence.

### II.6.2. Langage à contacts (LD : Ladder Diagramme)

Le langage LD (ladder diagramme) est une représentation graphique d'équations booléennes combinant des contacts (en entrée) et des relais (en sortie). Il permet la manipulation de données booléennes, à l'aide de symboles graphiques organisés dans un diagramme comme les éléments d'un schéma électrique à contacts. Les diagrammes LD sont



**Figure III 5** Exemple Programme LD avec de liaison multiple à droite.

Limités à gauche et à droite par des barres d'alimentation. Il est développé pour les électriciens. Il utilise les symboles tels que : contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels). [70] .

### II.6.3. Langage Blocs Fonctionnels (FBD : Function Bloc Diagram) :

Le langage FBD (function block diagram) est un Langage graphique où des fonctions sont représentées par des rectangles avec les entrées à gauche et les sorties à droites.

Les blocs sont programmés (bibliothèque) ou programmables. Utilisé par les automaticiens

#### Langage ST :

Le langage ST (structuredtext) est un langage textuel de haut niveau dédié aux applications d'automatisation. Ce langage est principalement utilisé pour décrire les procédures complexes, difficilement modélisables avec les langages graphiques. C'est le langage par défaut pour la programmation des actions dans les étapes et des conditions associées aux transitions du langage SFC.

- Q :=false ;
- CV :=0
- RETURN ;(\*fin du programme\*)
- End if;
- If RESET then
- CV:=0;
- Else
- If (CV<PV) then
- CV:= CV+1;
- End if;
- End if;
- Q:= (CV>=PV);

Figure III 6 Exemple Programme ST [66].

### III.7. L'environnement de l'API

Pour conduire sa mission vis-à-vis d'un procédé, un API doit disposer des liaisons connectées.

Temporairement ou non, directement ou non, à l'API. Ces dispositifs peuvent être, par exemple, les périphériques et les auxiliaires des API (l'imprimante, les mémoires de masse...), les consoles d'exploitation, etc.... [63].

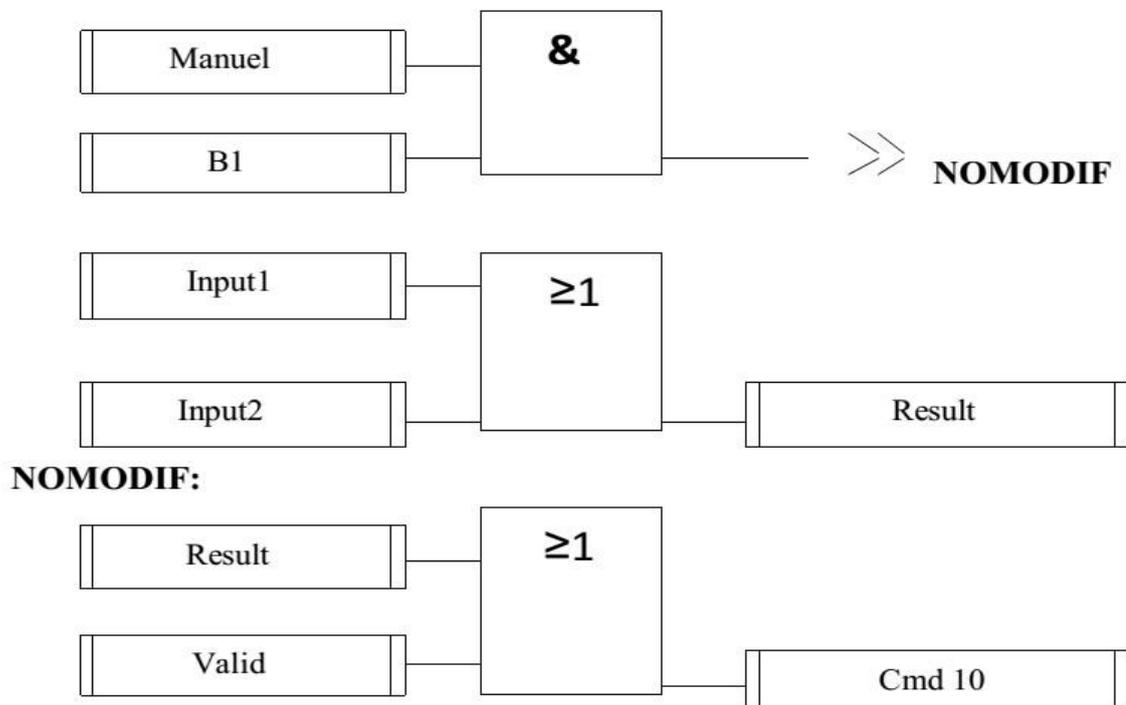
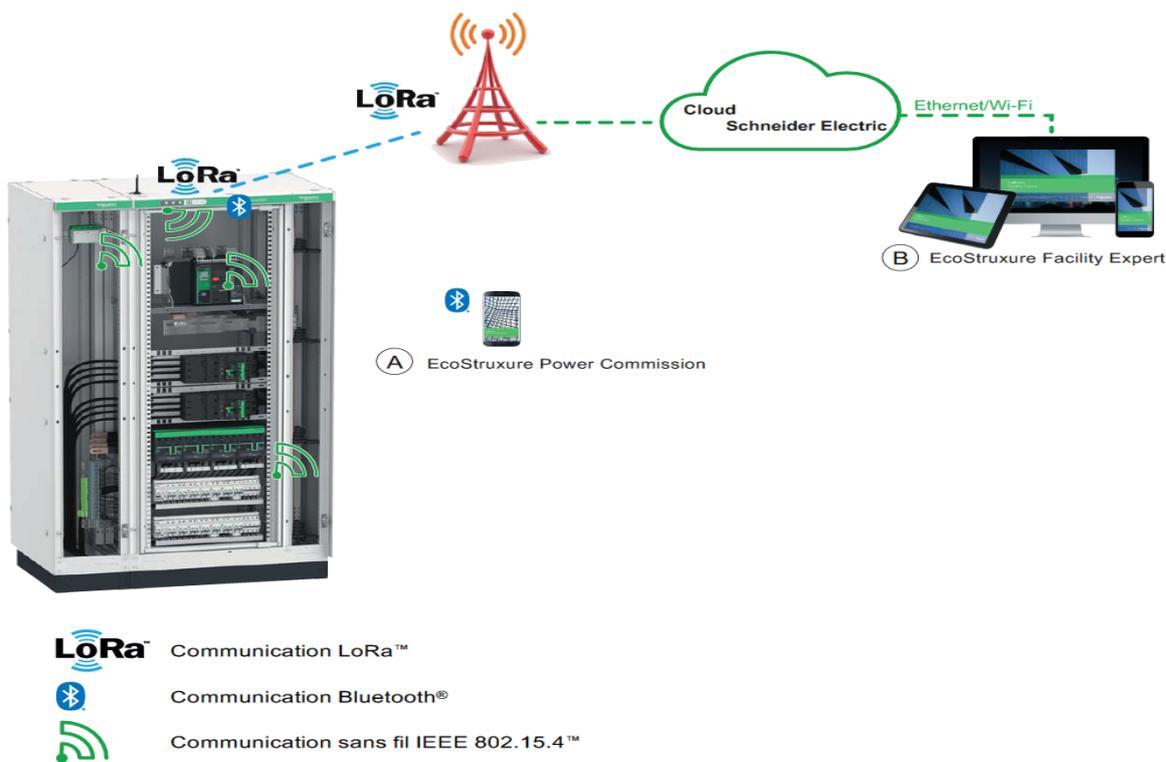


Figure III 7 Exemple Programme FBD avec de saut et d'étiquette [66].





Notre plateforme EcoStruxure permet d'avoir un suivi à distance des consommations et de recevoir des alertes avec des notifications sur mobile en cas de dysfonctionnement. Il y a ici deux grandes innovations : la première est d'intégrer dans le tableau électrique un algorithme pour la prévention des incendies dans le PowerLogic HeatTag. Nous l'avons conçu avec un partenaire dans l'IoT. Une fonction d'autant plus importante que selon l'ONSE, 25% des incendies sont d'origine électrique. Schneider Electric va ainsi encore davantage développer le prédictif au sein de ses produits. La deuxième est de disposer d'un modem en LoRa pour remonter l'intégralité des données du tableau la présence d'énergie, les niveaux de consommations, la prévention incendie... Le choix de LoRa est essentiel : cela nous permet d'obtenir les données même en cas de coupure de courant et sa couverture en France est



- A. Application EcoStruxure Power Commission pour configuration des appareils sans fil
- B. Logiciel EcoStruxure Facility Expert basé dans le cloud :
  - Notification en cas de perte de tension
  - Système d'alerte (abonnement Operations)
  - Gestion de l'énergie via des pages Web (abonnement Energy)

suffisamment large pour que la connectivité ne soit plus une option mais intégrée par défaut.

LoRa :long range wide area network

Figure III 9 Tableaux électriques intelligents ‘‘ électrique 4.0 ‘‘

### Comment avez-vous développé PrismaSeT Active ?

Nous voulions une solution résiliente, efficace, durable et humaine. Nous avons longuement travaillé sur ses capacités techniques, Schneider Electric investit 5% de son [chiffre d'affaires](#) en R&D. Au-delà de la technologie, nous nous sommes posés beaucoup de questions sur l'expérience client et sur la manière de simplifier son utilisation. C'est tout l'enjeu de l'IoT : rendre un objet communiquant est aisé, mais le faire de manière simple en ayant une véritable adoption représente le défi. Après plus de deux années de travaux, nous avons lancé en mars dernier PrismaSeT Active en phase de pré-commercialisation pour poursuivre son développement en fonction des retours de nos partenaires. Nous avons un programme regroupant 45 tableautiers, c'était à nos yeux très important de les impliquer dans le processus car la filière est partie prenante pour déployer de l'IoT et générer des services. Nous avons par exemple travaillé avec le tableautier français B2EI. Les échanges nous ont notamment permis de savoir que le packaging n'est pas adapté, nous avons donc arrêté le plastique sur ce produit.



Figure III 11 Tableau électrique est d'intégrer la connectivité LoRa. Schneider

## III 10.2 Les appareille pour control des armoires électriques

### III 10.2.1 le contrôleur TM221MEppp

EcoStruxure, l'architecture et plateforme IoT ouverte de Schneider Electric, propose des solutions puissantes à l'ère du numérique. Dans ce contexte, EcoStruxure Machine offre de fantastiques opportunités aux constructeurs de machines et aux OEM, en leur donnant les moyens de proposer des machines intelligentes pour être compétitifs à l'ère du numérique.

EcoStruxure Machine combine des technologies clés pour la connectivité des produits et le contrôle à la périphérie et des technologies de cloud pour fournir des outils d'analyse et des

services numériques. EcoStruxure Machine vous aide à apporter davantage d'innovation et de valeur ajoutée à vos clients tout au long du cycle de vie de la machine.

L'innovation à tous les niveaux pour les machines prend la forme de systèmes complets sur trois couches :

### III 10.2.2 Produits connectés

Conçus pour la mesure, l'actionnement, la surveillance au niveau de l'appareil et le contrôle, nos produits connectés sont conformes aux normes ouvertes pour garantir une intégration et une flexibilité totale.

### III 10.2.3 Outil de contrôle

Nous sommes prêts pour l'IIoT grâce à un ensemble d'architectures de référence testées et validées permettant de concevoir des systèmes complets ouverts, connectés et interopérables basés sur les standards de l'industrie. La convergence IT/OT étant facilitée par Ethernet et OPC UA, les constructeurs de machines tirent profit des interfaces web et du cloud.

### III 10.2.4 Applications, analyses et services

L'intégration transparente des machines dans la couche IT permet de collecter et d'agréger des données prêtes à être analysées ; pour les constructeurs de machines et les utilisateurs finaux, cela se traduit par une amélioration du temps de disponibilité et par la possibilité de retrouver plus rapidement les informations pour une exploitation et une maintenance plus efficace.

Ces niveaux sont complètement intégrés depuis les ateliers jusqu'aux étages de direction. Nous proposons également des offres de Cloud et la cyber sécurité de bout en bout.

Avec EcoStruxure Machine, il est plus facile pour les OEM/constructeurs de machines d'offrir des machines intelligentes à leurs clients. L'essor des machines intelligentes est une conséquence directe de l'évolution des besoins des utilisateurs finaux :

- Main-d'œuvre en pleine mutation
- Réduction des coûts
- Marchés dynamiques
- Cycles de vie raccourcis
- Priorité à la sûreté et à la cyber sécurité

EcoStruxure Machine offre une solution pour l'ensemble du cycle de vie de la machine :

Grâce à une conception et à une ingénierie intelligente, la mise sur le marché peut être réduite de 30 % par notre ingénierie automatisée et les capacités de simulation.

Pendant la mise en service et l'exploitation de la machine, les ressources énergétiques, les matériaux et les pertes peuvent être optimisés et l'intégration transparente à la couche IT peut être améliorée de 40 %.

La maintenance et les services intelligents permettent de réduire jusqu'à 50 % le temps passé aux actions correctives.

### III 10.2.4 Donner aux OEM industriels les clés de la réussite à l'ère du numérique

Pour rester compétitifs à l'ère du numérique, les constructeurs de machines doivent faire preuve d'innovation. Des machines intelligentes, mieux connectées, plus flexibles, plus efficaces et plus sûres, leur permettent d'innover comme jamais auparavant.

EcoStruxure™ Machine, notre architecture système ouverte, interopérable, basée sur l'IoT vous aide à construire plus rapidement des machines et des équipements plus intelligents, améliorant du même coup l'efficacité, la rentabilité et la durabilité de vos activités.

EcoStruxure Machine réunit des technologies clés pour la connectivité et le contrôle périphérique des produits sur site et des technologies de Cloud pour fournir des out i analytiques et des services numériques.

EcoStruxure Machine vous aide à apporter davantage d'innovation et de valeur ajoutée à vos clients sur tout le cycle de vie de leurs machines.

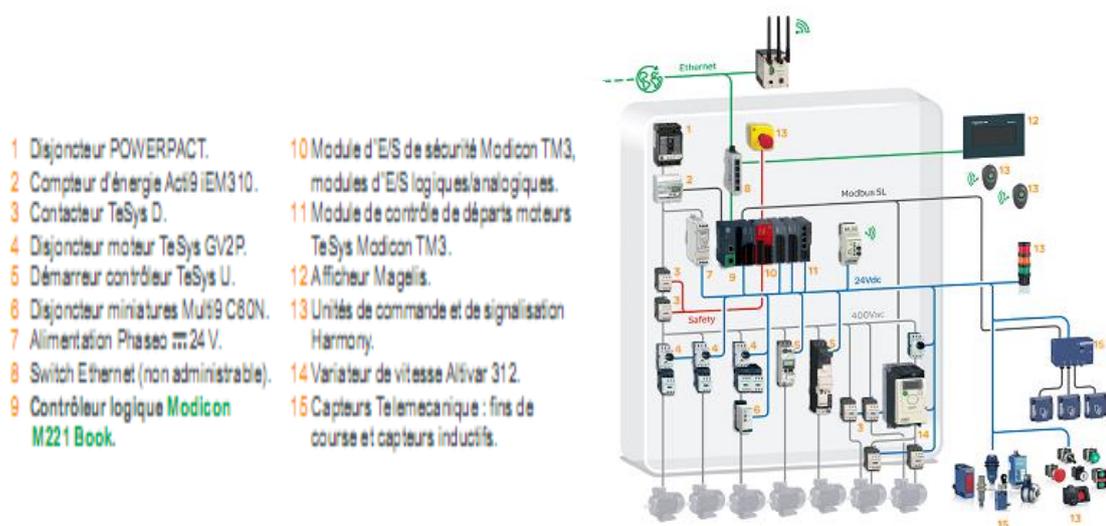


Figure III 12 exemple armoire électrique

### III 10.2.5 Architectures prêtes à l'emploi et blocs fonction applicative

Les architectures testées, validées et documentées (TVDA) sont un des moyens que nous proposons pour vous aider à réduire les délais de conception.

Que les machines soient simples ou complexes, les blocs fonction applicatifs (AFB) simplifient et accélèrent la conception de vos systèmes.

### III 10.3 Présentation

#### III.10.4 Communication embarquée

##### III.10.4 .1 Communication sur réseau Ethernet

Les contrôleurs TM221CEppp et TM221MEppp embarquent un port Ethernet de type RJ 45 (10/100 Mbit /s, MDI /MDIX) avec les protocoles Modbus TCP (Client /Serveur et IOScanner) et EtherNet/IP (adaptateur).

Outre l'adresse par défaut basée sur l'adresse MAC, il est possible d'assigner l'adresse IP du contrôleur via un serveur DHCP ou via un serveur BOOTP.

Le port Ethernet offre également les mêmes fonctionnalités de chargement, de mise à jour et de mise au point de l'application lorsque le contrôleur est alimenté.

Un pare-feu permet de verrouiller chaque protocole de communication.

Cordons et accessoires de raccordement sur réseau Ethernet Industriel, consulter notre catalogue réf. DIA3ED2160105FR.



**Figure III 13** control logique M221-contrôleur-24-entrees-sorties-  
24 vcc-pnp-ethernet-serie-24vcc "scheider"

### Liaisons séries

Chaque contrôleur TM221Cppp embarque une liaison série configurable en RS 232 ou en RS 485. De plus, une tension de 5 V/200 mA est disponible sur le connecteur RJ 45 permettant ainsi l'alimentation de l'afficheur TMH2GDB ou d'une IHM Magelis XBTN ou XBTRT.

Chaque contrôleur TM221Mppp embarque une ou deux liaisons série.

La liaison série SL1, présente sur chaque contrôleur M221 Book, est configurable en RS 232 ou en RS 485. De plus, une tension de 5 V/200 mA est disponible sur le connecteur RJ 45 permettant ainsi l'alimentation de l'afficheur

TMH2GDB, d'une IHM Magelis XBTN ou XBTRT ou d'autres équipements.

La liaison série SL2, présente sur les contrôleurs TM221M16ppp,

TM221M24ppp et TM221M40ppp uniquement, est configurée en RS 485.

Les liaisons série offrent également les fonctionnalités de chargement, de mise à jour et de mise au point de l'application lorsque le contrôleur est alimenté. Ces deux liaisons embarquent les trois protocoles principaux du marché :

- Modbus ASCII/RTU Maître ou Esclave
- Chaîne de caractère (ASCII)
- Modbus Serial IOScanner.

Cordons et accessoires de raccordement pour liaison série, consulter notre catalogue réf. DIA3ED2160106FR.

#### **III.10.4. 2 Programmation logicielle avec fonctionnalité de chargement hors tension.**

Le port de programmation, équipé d'un connecteur USB mini-B, est embarqué sur chaque contrôleur M221 et M221 Book ; il est dédié à la communication avec un PC équipé de SoMachine Basic pour la programmation, la mise au point et la maintenance.

En outre, il offre la capacité de charger un programme applicatif ou de mettre à jour le firmware sans que le contrôleur ne soit alimenté par ailleurs.

#### **III.10.4. 3 Caractéristiques des contrôleurs logiques Modicon M221.**

Certifications : e, UL Listing Mark, CSA, RCM, EAC, LR, ABS, DNV - GL

Normes : IEC/EN 61131-2 (Édition 2 2007), UL 508 (UL 61010-2-201),

ANSI/ISA 12.12.01-2007, CSA C22.2 N° 213, N° 142, E61131-2 et IACS E10

**III.10.4. 3.1 Alimentation**

Deux types d'alimentation sont disponibles selon le modèle de contrôleurs M221 :

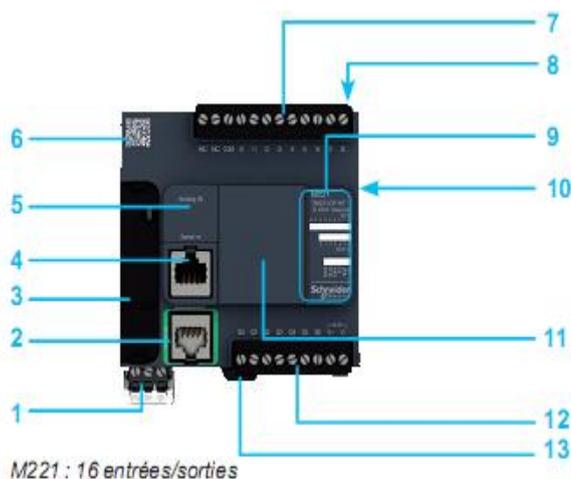
- C 24 V ou a 100-240 V 50/60 Hz.
- Limite de tension (ondulation comprise) : c 19,2...28,8 V/a 85...264 V
- Immunité aux micro-coupures (classe PS-2) : 10 ms

**III.10.4. 3.2 Consommation maxi**

- TM221 alimentés en AC, selon modèle : 31...41 VA sans modules d'extension, 46...70 VA avec configuration maximale de modules d'extension
- TM221 alimentés en DC, selon modèle : 3,2...4,9 W sans modules d'extension, 10...23 W avec configuration maximale de modules d'extension.

**III. 10.4. 3.3 Description**

Contrôleurs logiques M221 (TM221Cppp)



**Figure III 14** Contrôleur logique M221

1. Bornier débrochable à vis, 3 bornes pour le raccordement de l'alimentation c 24 V ou a 100-240 V (selon modèle).

2. Sur contrôleurs TM221CEppp : connecteur type RJ 45 pour réseau Ethernet, avec DEL indiquant la vitesse d'échange et l'activité.

3. Derrière le cache amovible : connecteur type USB mini-B pour le raccordement d'un PC équipé du logiciel

EcoStruxure Machine Expert - Basic

Emplacement pour la carte mémoire industrielle SD

Interrupteur Run/Stop.

4. Port liaison série (RS 232 ou RS 485) : connecteur type RJ 45.
5. Derrière un volet : connecteur spécifique débrochable pour deux entrées analogiques.
6. QR code d'accès à la documentation technique du contrôleur.
7. Raccordement des entrées logiques c 24 V sur borniers débrochables à vis (1)
8. Sur le dessus du contrôleur : emplacement pour porte-pile de sauvegarde.
9. Bloc de visualisation à DEL indiquant :
  - l'état du contrôleur et de ses composants (batterie, carte mémoire industrielle SD),
  - l'état de la liaison série,
  - l'état des entrées/sorties embarquées.
10. Sur le côté du contrôleur : connecteur de bus TM3 pour la liaison avec un module D'extension Modicon TM3.
11. Emplacement(s) pour cartouche(s) d'entrées/sorties, cartouche de Communication ou cartouche(s) applicative(s) : un sur contrôleurs M221 à 16 et à 24 entrées/sorties, deux sur contrôleurs M221 à 40 entrées/sorties.
- 12 Raccordement des sorties logiques relais/transistor : sur borniers débrochables à vis (1).
- 13 Clip de verrouillage sur profilé symétrique

### III. 10.4. 3.3 Afficheur graphique TMH2GDB



**Figure III 15** Afficheur graphique TMH2GDB

- 1 Écran de contrôle : écran graphique STN, bicolore (blanc/rouge), rétroéclairé.
- 2 Dix boutons de commande, dont deux personnalisables avec la possibilité d'identifier les fonctions associées.

3 Molette rotative de navigation et de commande.

Au dos de l'afficheur :

4 Système de montage composé d'un écrou de serrage, d'un joint d'étanchéité et d'un té anti-rotation.

5 Connecteur RJ 45 pour cordon de liaison de l'afficheur graphique au contrôleur logique Modicon M221/M221 Book.

### **III.10.5 Logiciels de programmation**

#### **III.10.5.1 EcoStruxure Machine Expert – Basic versien 2.1**

##### **Présentation**

EcoStruxure Machine Expert est un logiciel OEM (Original Equipment Manufacturer) professionnel, efficace et ouvert qui permet de développer, configurer et mettre en service une installation complète dans un environnement unique (logique, contrôle moteur et fonctions d'automatisation réseau connexes).

EcoStruxure Machine Expert vous permet de programmer et mettre en service l'ensemble des éléments de l'offre Flexible Machine Control de Schneider Electric, et vous aide à créer la solution de commande la mieux adaptée aux besoins de la plupart des machines.

#### **III.10.5.2 Offre Flexible Machine Control de Schneider Electric**

Flexible Machine Control est une offre Schneider Electric complète orientée solution pour les OEM. Elle inclut les éléments suivants :

- Un environnement logiciel
- EcoStruxure Machine Expert
- Deux types de plate-forme de commande de matériel
- Logic Controller
- Motion Controller
- Et de nombreux autres équipements
- IHM
- Variateurs de vitesse, servo-varianteurs, variateurs de moteur
- Capteurs et actionneurs
- Modules d'extension d'E/S locales et distribuées
- PC industriels (iPC)

- EcoStruxure Machine Expert intègre (selon la version) :
- Contrôleurs Logic Controller
  - Harmony SCU HMI Controller
  - Modicon M241
  - Modicon M251
  - Modicon M258
  - Modicon M262
- Contrôleurs Motion Controller
  - Modicon LMC058
  - Modicon M262
  - PacDrive LMC Eco
  - PacDrive LMC Pro/Pro2
- Panneaux graphiques HMI Harmony
  - Harmony XBTGH
  - Harmony GK
  - Harmony GTO
  - Harmony GTU
  - Harmony GTUX
  - Harmony STU
  - Harmony iPC

D'autres panneaux graphiques HMI sont pris en charge via la connexion Modbus, qui n'est pas compatible avec le protocole Machine Expert.

### **III.10.5.3 Fonctionnalités et fonctions principales**

EcoStruxure Machine Expert offre les fonctions et fonctionnalités principales suivantes :

- Tous les langages CEI 61131-3
- Configurateurs de bus de terrain intégrés
- Éditeur d'axe intégré
- Diagnostics et mise au point experts
- Mise à niveau du logiciel et de l'aide en ligne via Schneider Electric Software Installer

### **Arborescence fonctionnelle**

Intégrée pour regrouper et afficher les contenus d'un contrôleur selon vos besoins

- Serveur et client OPC DA et OPC UA intégrés
- Installation facultative de l'outil de développement d'application IHM Vijeo-Designer
- Installation facultative d'EcoStruxure Machine Expert - Safety pour configurer un contrôleur de sécurité
- Configuration d'un système de transport Lexium™ MC multi carrier
- Simulation d'objets mécatroniques avec EcoStruxure Machine Expert Twin
- Installation facultative de Controller Assistant pour gérer le téléchargement de micrologiciels et d'applications
- Modèles d'application et de fonction
- Analyse du code machine
- Module Smart Template intégré dans les projets standard
- Création et configuration de certificats de Controller
- Cryptage des fichiers de projet
- Échange de données entre outils de service, comme Motion Sizer et EcoStruxure Machine Expert
- Contrôle d'intégrité du projet et du logiciel
- Scripthooks : exécution d'un script Python lors de l'exécution d'une commande de menu ou de la détection d'un événement.
- Gestion des recettes
- ETEST : gestion des tests
- Création et paramétrage de diagrammes de came
- Système de commande source SVN
- Gestion des utilisateurs de projet et d'équipement
- Prise en charge de FDT/DTM
- Accès à la base de données depuis les contrôleurs via SQL Gateway
- Outils de service Diagnostics et Device Assistant
- Comparaison de projets avec l'outil Diff Viewer [72]

### Simplification du flux de production de l'utilisateur

Avec EcoStruxure Machine Expert, vous pouvez concevoir une solution complète avec juste :

- Un programme logiciel
- Un fichier de projet
- Une connexion par câble
- Un téléchargement. [72]

#### III.10.6 Interface utilisateur graphique

La navigation dans EcoStruxure Machine Expert est intuitive et visuelle.

La présentation a été optimisée pour que la sélection de la phase de développement d'un projet donné rende disponibles les outils appropriés.

L'interface utilisateur offre les avantages suivants :

- Elle permet de n'oublier aucune étape.
- Elle suggère les tâches à effectuer tout au long du cycle de développement du projet.
- Son espace de travail a été rationalisé afin de ne conserver que les éléments nécessaires et pertinents pour la tâche considérée, à l'exclusion de toute information inutile ou parasite.

##### III.10.6.1 Centre de formation

EcoStruxure Machine Expert inclut un lien vers un **Centre de formation** sur Internet qui fournit des animations, des documents et des exemples de programmation à des fins d'auto-formation.

##### III.10.6.2 Gestion de projets

Vous pouvez créer des projets avec ou sans les aides suivantes :

Exemples fournis

Modèles d'application fournis

EcoStruxure Machine Expert permet d'accéder rapidement aux projets les plus récents.

##### III.10.6.3 Propriétés de projet

EcoStruxure Machine Expert permet d'ajouter les éléments suivants à vos projets :

- Des informations textuelles supplémentaires,
- Des documents joints,
- Votre logo individuel,
- Une image de configuration.

#### **III.10.6.4 Gestion des versions du projet**

EcoStruxure Machine Expert peut conserver l'historique de votre projet en créant une sauvegarde automatique.

#### **III.10.6.5 Configuration**

EcoStruxure Machine Expert vous permet de concevoir facilement une architecture et d'en configurer les équipements.

#### **III.10.6.6 Programmation**

Les fonctions d'IHM et de commande avancée sont conçues pour répondre aux besoins d'un ingénieur OEM lors de la création d'un système de commande et de visualisation. Il est possible de tester à tout moment la conception et les fonctionnalités en générant une simulation rapide du système de commande ou d'IHM.[73]

#### **III.10.6.7 Documentation**

La documentation imprimée constitue un élément important de tout projet. EcoStruxure Machine Expert vous permet de créer et de personnaliser un rapport de projet en procédant comme suit :

- Sélection des éléments à inclure dans le rapport,
- Organisation des sections,
- Définition de la mise en page,
- Lancement de l'impression.[73]

#### **III.10.6.8 Fichiers d'aide**

EcoStruxure Machine Expert vous permet d'accéder à vos fichiers d'aide personnels : En exécutant une commande ou en tant qu'aide contextuelle.

#### **III.10.6.9 Informations sur le projet**

Cliquez avec le bouton droit sur le fichier EcoStruxure Machine Expert \*. project et exécutez la commande **Propriétés** pour accéder aux informations concernant l'auteur,

le **titre** et la **version** du fichier, mais également les contrôleurs utilisés dans le projet. De plus, vous pouvez comparer les informations d'**ID de code** et d'**ID de données** affichées dans le fichier **Propriétés** aux informations fournies via Controller Assistant lorsque vous êtes connecté au contrôleur ou via l'outil autonome Diagnostics installé avec EcoStruxure Machine Expert. Vous pouvez ainsi voir si un projet est adapté pour se connecter à un contrôleur spécifique du terrain sans avoir à ouvrir le projet lui-même. [73]

**NOTE :** Les informations affichées dans la boîte de dialogue **Propriétés** du fichier. Project sont mises à jour lors de l'enregistrement du fichier de projet.[73]

### III.10.7 Transparence du système

#### III.10.7.1 Protocole Machine Expert

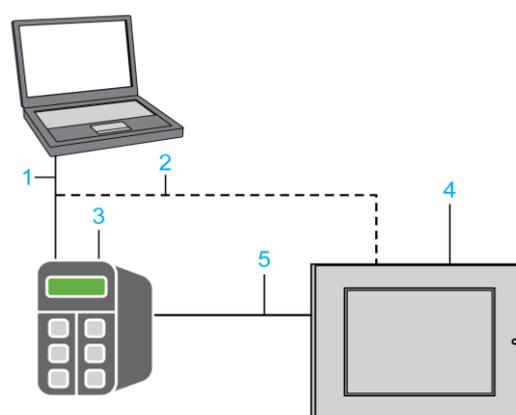
Le protocole Machine Expert est le protocole privilégié pour fournir un accès transparent à vos Controller et IHM.

Le protocole Machine Expert est utilisé pour tous les échanges de données : entre le logiciel EcoStruxure Machine Expert (ordinateur) et les systèmes d'exécution (Controller, IHM), configurés par Vijeo-Designer entre les Controller et les IHM intégrées qui prennent en charge le protocole Machine Expert.[74]

#### III.10.7.2 Connexion via un seul câble

Cette connexion unique à la machine est plus simple, les données transitent via le même câble de l'ordinateur au Controller et à l'IHM configurés par Vijeo-Designer. [74]

1. Connexion entre l'ordinateur EcoStruxure Machine Expert et le Controller
2. Autre connexion possible entre l'ordinateur EcoStruxure Machine Expert et l'IHM
3. Controller
4. IHM
5. Connexion entre le Controller et l'IHM



**Figure III 1** connexion via un seul câble

La figure ci-dessus représente l'accès équivalent. Le téléchargement et la mise en service sur le Controller s'effectuent de deux manières : connexion directe entre l'ordinateur EcoStruxure Machine Expert et le Controller qui retransmet les informations à l'IHM ; connexion entre l'ordinateur EcoStruxure Machine Expert et l'IHM qui retransmet les informations au contrôleur. Ainsi, l'ordinateur EcoStruxure Machine Expert est connecté directement à l'IHM (2) et, via l'IHM, au Controller (5).[74]

### III.10.7.3 Définition unique des variables

Le protocole transparent Machine Expert permet de définir des variables une seule fois dans le projet et de les mettre à disposition de tous les autres IHM et Controller par un mécanisme de publication/souscription basé sur des noms symboliques. Une fois les variables publiées, les autres IHM et Controller peuvent y souscrire sans qu'il soit nécessaire de saisir à nouveau leur définition.[74]

Ce mécanisme de publication/souscription offre les avantages suivants :

- Définition unique des variables partagées entre le Controller et l'IHM,
- Publication et souscription de variables par simple sélection,
- Définition d'échange des variables, indépendante du support (ligne série, etc.).[74]

### III.10.8 Cyber sécurité

Les recommandations et les solutions de cybersécurité sont en constante évolution. Dès sa conception, Schneider Electric intègre les toutes dernières connaissances et techniques pour rendre les produits plus résilients aux cyberattaques. L'approche intégrant la sécurité dans la conception permet de mettre en œuvre des mécanismes qui limitent les menaces, réduisent les vulnérabilités exploitables et protègent contre les vols de données et les cyberattaques évitables.[75]

#### III.10.8.1 Installation et offre de produits

##### III.10.8.1 Installation d'EcoStruxure Machine Expert

Avant d'installer EcoStruxure Machine Expert, vous devez installer le Schneider Electric Software Installer.[76]

Le Schneider Electric Software Installer propose les fonctionnalités suivantes :

- Installation et désinstallation de EcoStruxure Machine Expert ;
- Téléchargement d'une version complète du logiciel pour installation ultérieure ;
- Personnalisation de votre installation de EcoStruxure Machine Expert, y compris du type d'installation préféré ;
- Gestion de la licence de EcoStruxure Machine Expert.
- Téléchargement de l'aide en ligne complète pour chaque langue
- Ouverture de l'outil de gestion de l'aide pour télécharger des guides d'aide en ligne individuels
- Recherche des mises à jour de Schneider Electric Software Installer
- Exportation/importation de la configuration d'installation. [76]

### **III.10.8.2 Contenu de l'offre de produits EcoStruxure Machine Expert**

Offres de produits EcoStruxure Machine Expert disponibles :

- Logiciel EcoStruxure Machine Expert standard avec fonctions génériques
- Vous pouvez compléter EcoStruxure Machine Expert en installant plusieurs options.

Le tableau présente les bibliothèques et équipements pris en charge, selon la version d'EcoStruxure Machine Expert. [77]

### **III.10.9 L'application industrie 4.0 sur un moteur**

#### **III.10.9.1 Démarrage direct moteur 2 sens de rotation**

Les schémas suivants permettent d'alimenter un moteur asynchrone triphasé directement sur le réseau. Le moteur est commandé par un bouton marche avant, un bouton marche arrière et un bouton d'arrêt, l'arrêt est prioritaire.

Le schéma de puissance est constitué principalement d'un sectionneur, de deux contacteurs équipés d'inter-verrouillage et d'un relais thermique.

Dans le cas d'une partie commande en basse tension comme montré sur le schéma de commande, il faut ajouter un transformateur (mono 230V ou mono 400V) et ses protections. Ce montage est aussi équipé de voyants (optionnels).

III.10.9.1 Schéma de puissance

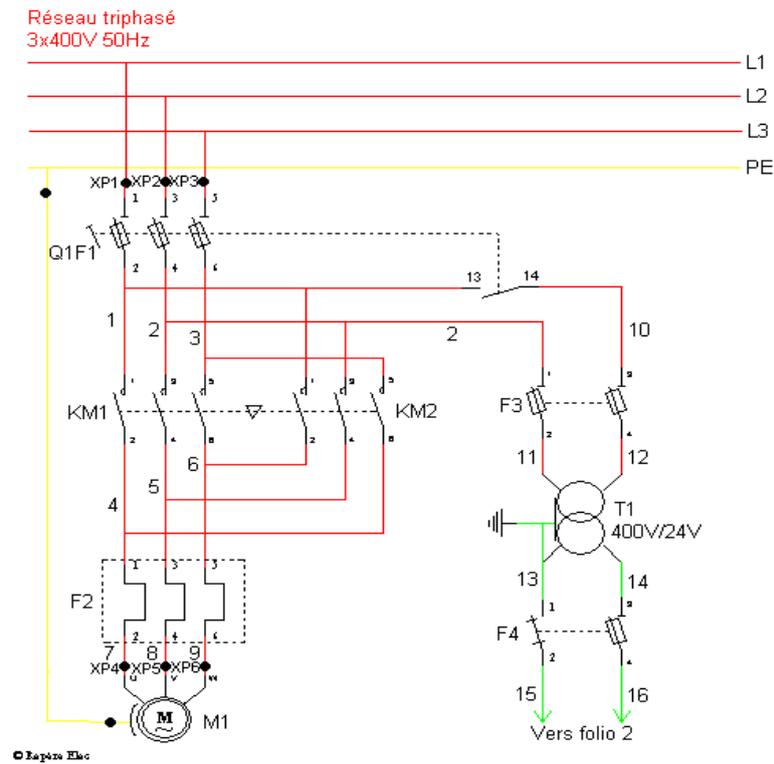


Figure III 2 Schéma puissance démarrage moteur 2 sens

2) Schéma de commande

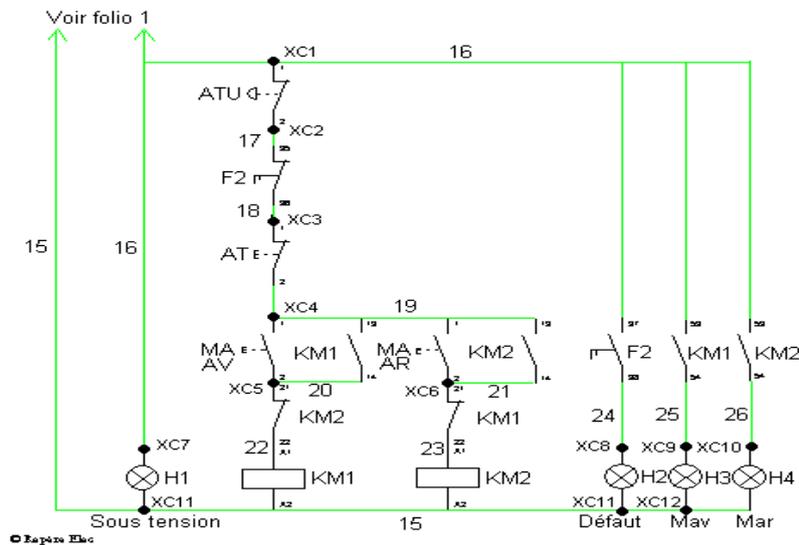


Figure III 3 Schéma Commande démarrage moteur 2 sens

### 3) programmations avec langage LADER

Tableau III 1 tableau dessiccation

	Etat	Mnémonique /	Opérande	Type de donn	Commentaire
1		START	E 0.0	BOOL	
2		STOP	E 0.1	BOOL	
3		CRTH	E 0.2	BOOL	
4		KM1	A 0.0	BOOL	
5		KM2	A 0.1	BOOL	
6		LV	A 0.2	BOOL	
7		LR	A 0.3	BOOL	
8		LO	A 0.4	BOOL	
9					

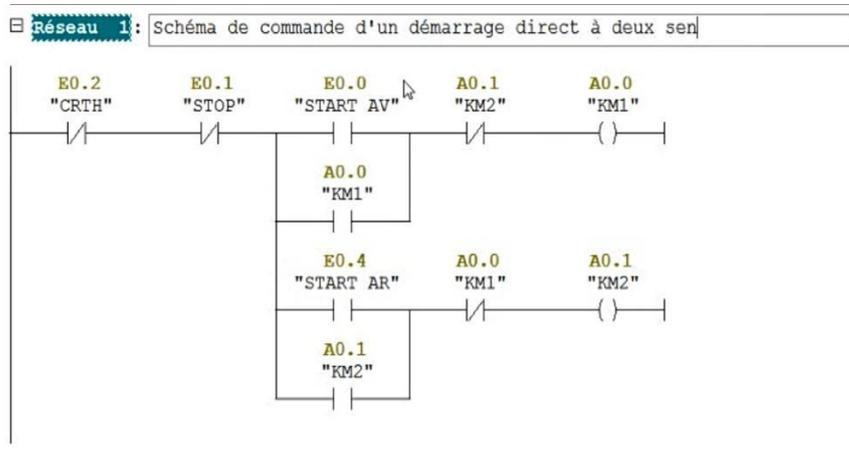


Figure III 4 Schéma de commande d'un démarrage direct à deux sens

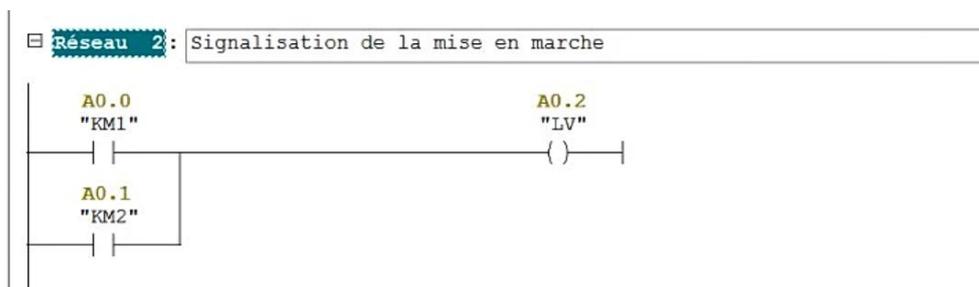


Figure III 5 Signalisation de mise en marche

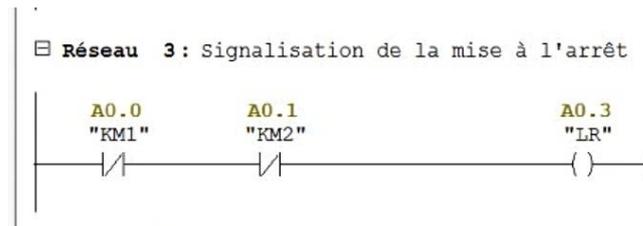


Figure III 6 signalisation de mise à l'arrêt

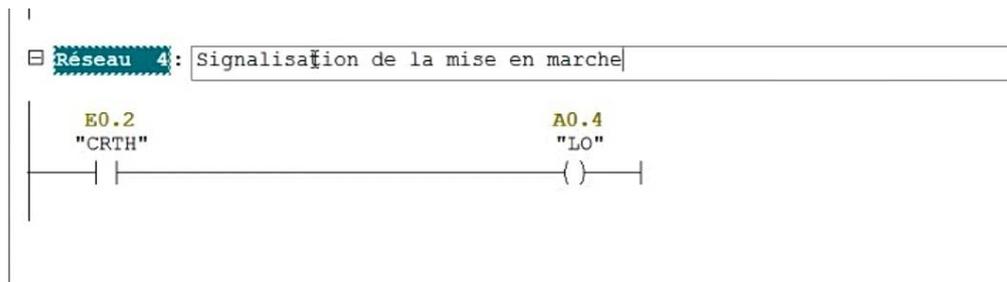


Figure III 7 signalisation de mise en marche

### III.11 Conclusion

- L'automate programmable industriel a fait un bond en avant dans le domaine du contrôle de sorte que la plupart des fonctions industrielles opèrent sous le contrôle de cet élément. Dans ce chapitre, nous avons expliqué en détail ses propriétés, ses types, tous ses composés et ses méthodes de programmation.
- Les modules Zelio Logic sont destinés à la réalisation de petits équipements d'automatisme, ils sont utilisés dans les secteurs d'activité de l'industrie et du tertiaire.
- Les contrôleurs TM221CEppp et TM221MEppp simple machine pour tous les équipements électriques industriel.
- Le personnel de maintenance diagnostique par le smart phone ou PC.
- La vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettant le choix dans la gamme souvent très étendue. Facilement de communication et rapidement de transports les informations

### *Conclusion Générale*

un terme utilisé pour décrire la quatrième révolution industrielle qui se déroule dans l'industrie manufacturière, et elle change tout ! La tendance à l'automatisation et le partage de données dans le secteur manufacturier. L'industrie 4.0 repose sur quatre piliers : les systèmes cyber physiques, l'Internet des objets, le big data et le cloud -principaux : les systèmes cyber computing. Ces technologies se combinent pour créer une usine connectée où les machines indépendantes peuvent communiquer entre elles et prendre des décisions de manière autonome. Cela permet une plus grande efficacité et flexibilité dans le processus de fabrication, ainsi qu'un meilleur contrôle de la qualité et une réduction des déchets.

Les bases de l'industrie 4.0 : Compréhension, choix, câblage, mise en œuvre des Automates Programmables Industriels (API), réseaux industriels, production industrielle et robotique industrielle, supervision, Interface Homme Machine

Les besoins du monde de l'Industrie 4.0 : Le développement industriel, les méthodes de production et les technologies des réseaux de communication, par la création de réseaux électriques, les réseaux industriels, la programmation structurée, les systèmes embarqués programmables, les microcontrôleurs, ou encore la cybersécurité, seront étudiés pour maîtriser

### Références Bibliographique

- [1] <https://www.integral-system.fr/cms/avantages-industrie-4-entreprise>
- [2] Megueddem Mohammed-Yazid- MÉMOIRE DE MASTER. univ-biskra
- [3] <https://knowhow.distrelec.com/fr/industrie/levolution-de-larmoire-electrique-industrielle-a-lerede-linternet-industriel-des-objets/>
- [4] Drath & Horch 2014
- [5] Hermann, Tobias,& Boris 2015
- [6] Industrial Internet Consortium,s.d
- [7] Gilchrist,2016
- [8] Monsrori,L,2014.Cyber-physique Production Systèmes
- [9] Shi,J,Wan,J,Yan,H,Suo,H2011.a survey of cyber-physique systèmes
- [10] lea,J,Bagheri,B,Kao,H-A,2015 a CPS architecture for industry4.0 bases manufacturing système
- [11] <https://www.ovhcloud.com/fr/learn/what-is-iot/>
- [12] <https://www.ip-systemes.com/details-l+usine+intelligente+de+quoi+s+agit+il+-861.html#>
- [13] <https://alegerglobal.com/fr/realite-augmentee/domaines-dapplication/usine-intelligente/>
- [14] <https://intelligence-artificielle.com/big-data-ia-dossier-complet/>
- [15] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-cloud-computing-11573/>
- [16] <https://www.journaldunet.com/ebusiness/internet-mobile/1486748-industrie-4-0-le-smartphone-professionnel-un-outil-createur-de-valeur/>
- [17] Billinghamurst, Kato, & Popyrev, 2001
- [18] Caudell & Mizell, 1992
- [19] Ustundag,Alp,Cevikcan,&Emre,2018
- [20] enhanced reality, Ryan, Pascoe, & Morse, 1998
- [21] mediated reality, Mann & Barfield, 2003
- [22] mixed reality, augmented virtuality, Drasic & Milgram, 1996
- [23] <https://www.cairn.info/revue-le-travail-humain-2007-2-page-97.htm>
- [24] <http://www.calvados-strategie.com/comment-fonctionnent-les-technologies-sans-fil/#Infrarouge>
- [25] <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/imprimante-3d-impression-3d-15137/>

## Références Bibliographique

---

- [26] The Arab Weekly, s.d
- [27] TeachMideast, s.d.
- [28] INSEE, s.d
- [29] Deloitte, 2014
- [30] AigounAli\_HocineYacine, Mémoire de Fin d'Etudes de Master, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou
- [31] Chap1 la fonction .pdf, elearning Université Djelfa
- [32] Taleb monia, Mémoire de Fin d'Etudes de DOCTEUR, Université skikda
- [33] Bekhouche imad Mémoire de Fin d'Etudes de Université Badji Mokhtar Annaba
- [34] Chapitre 7 Maintenance électrique, <http://elec.jbd.free.fr/>
- [35] <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00198491/document>
- [36] Cours 1 Généralités sur les défaillances <https://fac.umc.edu.dz/>
- [37] <https://l2ep.univ-lille.fr/pagesperso/francois/c-fa-ch-ph.pdf>
- [38] Salowa Methnani, Mémoire de Docteur en (Génie électrique), École Doctorale Mathématiques et Informatique, université ToulonVar
- [39] <https://www.jltlec.fr/2019/01/09/armoire-electrique-et-coffret-electrique-industriels-quelles-normes/>
- [40] <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/14588/1/Doct.ELN.Djelloul.pdf>
- [41] [https://electrotoile.eu/dispositif\\_differentiel\\_ddr.php](https://electrotoile.eu/dispositif_differentiel_ddr.php)
- [42] <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-tableau-distribution-10925/>
- [42] <https://www.ourdoconline.com/MI/dimensionnement-protection-56.pdf>
- [43] <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2292-tableau-electrique-disjoncteurs.html>
- [44] <https://izi-by-edf.fr/blog/tableau-electrique-fonctionnement/>
- [45] <https://www.electriciteguide.com/guide/armoire-electrique-modeles-et-prix.htm>
- [46] <https://installation-electrique.ooreka.fr/astuce/voir/565123/armoire-electrique>
- [47] <https://www.diagnosticelectrique.com/definition-armoire-electrique/>
- [48] <https://fluxdeconnaissances.com/information/page/read/130601-comment-lire-un-schema-electrique-industriel>
- [49] <https://www.futura-sciences.com/maison/questions-reponses/electricite-verification-installation-electrique-proceder-4233/>
- [50] <https://www.repereelec.com/comment-utiliser-un-testeur-electrique.html>

- [51] <https://www.securiteartisan.com/prevention-general/difference-entre-habilitation-autorisation-formation/>
- [52] <https://www.inrs.fr/risques/electriques/habilitation-electrique-foire-aux-questions.html>
- [53] <https://www.positron-libre.com/cours/electrotechnique/schema/schema.php>
- [54] <http://techelec.e-monsite.com/medias/files/symboles-schemas.pdf>
- [55] [http://graczyk.fr/lycee/IMG/pdf/11-12\\_ATI1\\_CE\\_TP\\_DR\\_Reperage\\_des\\_schemas.pdf](http://graczyk.fr/lycee/IMG/pdf/11-12_ATI1_CE_TP_DR_Reperage_des_schemas.pdf)
- [56] ÉTUDE TECHNOLOGIQUE DU CABLAGE INDUSTRIEL <https://fac.umc.edu.dz>
- [57] Cour Principales règles de schéma électrique et de câblage, Lycée Jean Baptiste Delambre.Amiens France,
- [58] <https://slideplayer.fr/slide/1149720/>
- [59] TIAIBA, Oussama. ETUDE SIMULATION DES (API) EN VUE DE LEURS APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONE TRIPHASES AVEC UN LOGICIEL EN LANGAGE GRAFCET. 2008. PhD Thesis. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila.
- [60] BENYETTOU, Fatima Zahra. COMMANDE D'UNE MACHINE INDUSTRIELLE FRAISEUSE PAR API. 2011. PhD Thesis. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila.
- [61] (Olivier Delepine, vice-président Buildings & Channel chez Schneider Electric. © Schneider Electric)
- [62] CHERIF, Aissa. ETUDE SIMULATION DES (API) EN VUE DE LEURS APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE DEMARRAGE DES MOTEURS ASYNCHRONE TRIPHASES. 2007. PhD Thesis. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila.
- [63] LAHCEN, GUERRAS. COMMANDE D'UN SYSTEME AUTOMATISE DE PRODUCTION (SAP) PAR AUTOMATE PROGRAMMABLE INDUSTRIEL (API)«BRIQUETERIE D'EL KALAA BENI HAMMAD M'SILA». 2013. PhD Thesis. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila.
- [64] BLANCHET, Max. Industrie 4.0 Nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique. Outre Terre, 2016, 1: 62-85.

- [65] AGHILAS, Kouriche. Etude d'automatisation de la partie d'injection de soude à la station de la Laveuse bouteilles. 2017. PhD Thesis. Université Mouloud Mammeri.
- [66] GONZAGA, Alain. Les automates programmables industriels. PDF téléchargé du [www.geea.org](http://www.geea.org), 2004.
- [67] ZINEDINE, Iabbaden; FARID, Lahlou. Réalisation d'un module de distribution d'énergie à base D'une carte Arduino méga 2560. 2017. PhD Thesis. Université Mouloud Mammeri
- [68] LASSELAT, RACHID. RÉOLUTION PAR GRAFCET ÉVOLUÉ D'UN SYSTÈME AUTOMATISÉ INDUSTRIEL « BRIQUETERIE D'EL KALAA BENI HAMMAD-M'SILA. 2009. PhD Thesis. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila.
- [69] BENYAHIA ISMAHANE. BOUMELIT ASMA, « Application du GRAFCET pour l'automatisation d'une remplisseuse d'un liquide », Mémoire du technicien Supérieur, I.N.S.F.P. BATNA, MARS 2008.
- [70] BIBEAU, Robert. Les TIC à l'école : proposition de taxonomie et analyse des obstacles à leur intégration. Revue de l'EPI, 2005.
- [71] LORINO, Philippe. Le contrôle de gestion stratégique : la gestion par les activités. Paris: Dunod, 1991.
- [72] <https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/fr/SoGloRef/index.htm#t=SoGloRef%2FD-SE-0080407.html>
- [73] <https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/fr/SoGloRef/index.htm#t=SoGloRef%2FD-SE-0080408.html>
- [74] (<https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/fr/SoGloRef/index.htm#t=SoGloRef%2FD-SE-0080409.html>)
- [75] <https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/fr/SoGloRef/index.htm#t=SoGloRef%2FCybersecurity-7BD4013E.html>

- [76] (<https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/fr/SoGloRef/index.htm#t=SoGloRef%2FD-SE-0080414.html>)
- [77] (<https://olh.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V2.0/fr/SoGloRef/index.htm#t=SoGloRef%2FD-SE-0080416.html>)