

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Généralités sur le GRAFCET</b>	<b>17</b>
1.1	La représentation graphique du GRAFCET	17
1.1.1	Définition	17
1.1.2	Étape	18
1.1.3	Action	20
1.1.4	Les Transitions et réceptivités	21
1.2	Les 5 règles d'évolution d'un GRAFCET	23
1.3	Les branchements	26
1.3.1	Sélection de séquences (Aiguillage)	26
1.3.1.1	Principe	26
1.3.1.2	Divergence en OU	26
1.3.1.3	Convergence en OU	26
1.3.2	Exemple : Chariot multivitesses	29
1.3.2.1	Fonctionnement	29
1.3.2.2	Entrées/Sorties	29
1.3.2.3	GRAFCET	29
1.3.3	Séquences simultanées	31
1.3.3.1	Principe	31
1.3.3.2	Divergence en ET	31
1.3.3.3	Convergence en ET	31
1.3.4	Exemple : Gestion de 2 Chariots	33
1.3.4.1	Fonctionnement	33
1.3.4.2	Entrées/Sorties	34
1.3.4.3	GRAFCET	34
1.4	Les branchements	34
1.4.1	Saut d'étape	34
1.4.1.1	Principe	34
1.4.1.2	Exemple	34
1.4.2	Reprise de séquence	34
1.4.2.1	Principe	34
1.4.2.2	Exemple	38
1.5	Macro-étape	38
1.5.1	Principe	38
1.5.2	Exemple : Chariots	40
1.6	Macro-étape : Remplissage d'un bac	40
1.6.0.1	Fonctionnement	40

1.6.0.2	Qu'est-ce qu'une électrovanne? . . . . .	40
1.6.0.3	Entrées/Sorties . . . . .	43
1.6.0.4	GRAFCET . . . . .	43
1.7	Le forçage & le figeage . . . . .	43
1.7.1	Définition . . . . .	43
1.7.2	Le Forçage : Situation initiale . . . . .	43
1.7.3	Le Forçage : Situation spécifique . . . . .	47
1.7.4	Le Forçage : Situation vide . . . . .	47
1.7.5	Le Figeage : Situation courante . . . . .	49
1.7.6	Exemple : Chariot multivitesse . . . . .	49
1.7.6.1	Fonctionnement . . . . .	49
1.7.6.2	GRAFCET du fonctionnement normal (GFN) . . . . .	50
1.7.6.3	GRAFCET de sécurité (GS) . . . . .	51
1.7.7	Hiérarchisation . . . . .	53
1.7.7.1	Définition . . . . .	53
1.7.7.2	Exemple : Mise en défaut de deux machines . . . . .	55
<b>2</b>	<b>Implémentation d'un GRAFCET avec Arduino</b>	<b>57</b>
2.1	Architecture d'un automate avec Arduino . . . . .	57
2.1.1	Introduction . . . . .	57
2.1.2	Description de l'architecture . . . . .	58
2.1.3	Pourquoi la carte Arduino? . . . . .	58
2.1.4	<b>Comment choisir une carte Arduino pour son GRAFCET?</b> . . . . .	59
2.1.4.1	Description . . . . .	59
2.1.4.2	Mémoires Arduino . . . . .	59
2.1.4.3	Périphériques Arduino . . . . .	61
2.1.5	<b>Modules de puissance compatibles avec Arduino</b> . . . . .	61
2.1.5.1	La problématique . . . . .	61
2.1.5.2	Comment choisir une carte relais? . . . . .	62
2.1.5.3	Comment choisir un contacteur? . . . . .	63
2.1.6	Comment inverser le sens de rotation d'une machine tournante? . . . . .	66
2.1.6.1	Importance . . . . .	66
2.1.6.2	Moteur à courant continu (ou monophasé) . . . . .	66
2.1.6.3	Machine triphasée . . . . .	69
2.1.7	Quelle est la différence entre un capteur, détecteur et actionneur? . . . . .	69
2.1.7.1	Capteur . . . . .	69
2.1.7.2	Détecteur . . . . .	71
2.1.7.3	Actionneur . . . . .	73
2.2	Méthodologie d'implémentation d'un GRAFCET avec Arduino . . . . .	73
2.2.1	Introduction . . . . .	73
2.2.2	La fonction d'initialisation <b>InitStateIO()</b> . . . . .	75
2.2.2.1	Rôle de la fonction . . . . .	75
2.2.2.2	Syntaxes . . . . .	75
2.2.2.3	Exemple d'appel d'une fonction . . . . .	76
2.2.3	La fonction d'activation des sorties <b>SetOutputs()</b> . . . . .	78
2.2.3.1	Rôle de la fonction . . . . .	78
2.2.3.2	Syntaxes . . . . .	78
2.2.3.3	Exemple d'appel de la fonction . . . . .	81
2.2.4	La fonction de lecture des entrées <b>GetInputs()</b> . . . . .	81
2.2.4.1	Rôle de la fonction . . . . .	81

2.2.4.2	Syntaxes . . . . .	81
2.2.4.3	Exemple d'appel de la fonction . . . . .	84
2.2.5	La fonction du calcul des transitions <b>ComputeTrans()</b> . . . . .	86
2.2.5.1	Rôle de la fonction . . . . .	86
2.2.5.2	Syntaxes . . . . .	86
2.2.5.3	Exemple d'appel de la fonction . . . . .	87
2.2.6	La fonction de mise à jour des étapes <b>SetupStates()</b> . . . . .	89
2.2.6.1	Rôle de la fonction . . . . .	89
2.2.6.2	Syntaxes . . . . .	89
2.2.6.3	Exemple d'appel de la fonction . . . . .	90
2.2.7	Commande de l'allumage des lampes . . . . .	93
2.2.7.1	Introduction et cahier des charges . . . . .	93
2.2.7.2	Architecture matérielle avec Arduino . . . . .	93
2.2.7.3	Conception du GRAFCET . . . . .	94
2.2.7.4	Le programme Arduino . . . . .	95
<b>3</b>	<b>Applications</b> . . . . .	<b>103</b>
3.1	Système de remplissage automatique d'un réservoir . . . . .	103
3.1.1	Cahier des charges . . . . .	103
3.1.2	Architecture matérielle avec Arduino . . . . .	104
3.1.2.1	Choix de la pompe . . . . .	104
3.1.3	Conception du GRAFCET . . . . .	107
3.1.4	Le programme Arduino . . . . .	107
3.1.5	Limitations et points d'amélioration . . . . .	115
3.2	Inverseur de source : Réseau de secours . . . . .	115
3.2.1	Cahier des charges . . . . .	115
3.2.2	Architecture matérielle avec Arduino . . . . .	117
3.2.2.1	Détection des réseaux . . . . .	117
3.2.2.2	Schéma de principe . . . . .	118
3.2.3	Conception du GRAFCET . . . . .	120
3.2.4	Le programme Arduino . . . . .	121
3.2.4.1	Conversion d'une entrée analogique en entrée logique . . . . .	121
3.2.4.2	Le programme . . . . .	121
3.3	Chauffage électrique intelligent . . . . .	126
3.3.1	Cahier des charges . . . . .	126
3.3.2	Architecture matérielle avec Arduino . . . . .	130
3.3.2.1	Schéma synoptique . . . . .	130
3.3.2.2	Les E/S de la gestion des sources (G1) . . . . .	131
3.3.2.3	Les E/S de la commande du chauffage (G2) . . . . .	131
3.3.3	Conception du GRAFCET . . . . .	132
3.3.3.1	Gestion des sources (G1) . . . . .	132
3.3.3.2	Gestion du chauffage (G2) . . . . .	132
3.3.4	Le programme Arduino . . . . .	134
3.3.4.1	Lecture de la température . . . . .	134
3.3.4.2	A quoi sert d'avoir plusieurs GRAFCET? . . . . .	134
3.3.4.3	Comment coder plusieurs GRAFCET? . . . . .	134
3.3.4.4	La définition des paramètres . . . . .	136
3.3.4.5	Initialisation des étapes & les E/S : InitStateIO() . . . . .	136
3.3.4.6	Activation des sorties : SetOutputs() . . . . .	139
3.3.4.7	Lecture des entrées : GetInputs() . . . . .	139

3.3.4.8	Calcul des transitions : ComputeTrans()	141
3.3.4.9	Mise à jour des étapes : SetupStates()	141
3.3.4.10	La boucle principale loop()	141
3.3.4.11	Le programme complet	142
3.4	Commande IR d'un Système Multimodes	142
3.4.1	Importance de la commande	142
3.4.2	Cahier des charges	146
3.4.2.1	Architecture matérielle avec Arduino	149
3.4.2.2	Schéma synoptique	149
3.4.2.3	Les E/S de l'automate	149
3.4.2.4	Mesure de la distance	150
3.4.2.5	Récepteur IR	151
3.4.2.6	Télécommande IR	152
3.4.2.7	Le déplacement linéaire du curseur	154
3.4.3	Conception du GRAFCET	155
3.4.4	Le programme Arduino	157
3.4.4.1	Lecture des distances : getDistmm()	157
3.4.4.2	Lecture des modes : getMode()	157
3.4.4.3	Commande du moteur PAP : setMPAP()	159
3.4.4.4	Le programme complet	162
3.5	Commande électronique d'une porte blindée	162
3.5.1	Cahier des charges	162
3.5.2	Architecture matérielle avec Arduino	163
3.5.2.1	Architecture	163
3.5.2.2	Optimisation de l'architecture	164
3.5.2.3	Les E/S de l'automate	164
3.5.2.4	Surveillance du courant	164
3.5.3	Conception du GRAFCET	167
3.5.4	Le programme Arduino	170
3.5.4.1	Lecture du clavier : lireClavier()	170
3.5.4.2	Lecture du code : getCode()	170
3.5.4.3	Vérification du code : verifCode()	170
3.5.4.4	Lecture du courant : getCourantmA()	173
3.5.4.5	Commande de la porte : setPorte()	174
3.5.4.6	Le programme complet	175
3.6	Système d'Arrosage/Irrigation Autonome	175
3.6.1	Cahier des charges	175
3.6.2	Architecture matérielle avec Arduino	178
3.6.2.1	Architecture	178
3.6.2.2	Les E/S de l'automate	180
3.6.3	Conception du GRAFCET	180
3.6.4	Le programme Arduino	180
3.6.4.1	La lecture du module RTC readClock()	180
3.6.4.2	Vérification de l'horloge	182
3.6.4.3	Mise à jour de l'heure updateClock()	184
3.6.4.4	Extrait du programme	184
3.7	Ascenseur : Algorithme Générique	184
3.7.0.1	Cahier des charges	184
3.7.0.2	Schéma synoptique des sous-systèmes	188
3.7.1	Architecture matérielle avec Arduino	189

3.7.2	La Gestion de la porte de la cabine (G2) . . . . .	192
3.7.2.1	Les E/S de l'automate . . . . .	192
3.7.2.2	Conception du GRAFCET (G2) . . . . .	192
3.7.3	La Gestion des appels (G3) . . . . .	192
3.7.3.1	Les E/S de l'automate . . . . .	192
3.7.3.2	Conception du GRAFCET (G3) . . . . .	193
3.7.4	La Gestion du déplacement de la cabine (G4) . . . . .	195
3.7.4.1	Les E/S de l'automate . . . . .	195
3.7.4.2	Conception du GRAFCET (G4) . . . . .	199
3.7.5	La Gestion du blocage de la porte (G5) . . . . .	201
3.7.5.1	Les E/S de l'automate . . . . .	201
3.7.5.2	Conception du GRAFCET (G5) . . . . .	201
3.7.6	Le GRAFCET Central (G1) . . . . .	201
3.7.6.1	Les E/S de l'automate . . . . .	201
3.7.6.2	Conception du GRAFCET (G1) . . . . .	203
3.7.7	Le programme Arduino . . . . .	204
3.7.7.1	La fonction getNumExt() . . . . .	204
3.7.7.2	La fonction byte2buff() . . . . .	204
3.7.7.3	La fonction byte2bitId() . . . . .	204
3.7.7.4	La fonction setCabin() . . . . .	205
3.7.7.5	Extrait du programme complet . . . . .	205
<b>Annexes</b>		<b>210</b>
<b>Index</b>		<b>219</b>



# Table des figures

1.1	La représentation graphique d'un GRAFCET. . . . .	18
1.2	Les étapes . . . . .	19
1.3	Les actions . . . . .	20
1.4	Transition et Réceptivité . . . . .	21
1.5	Transition et Réceptivité . . . . .	22
1.6	Règle numéro 1 : Situation initiale . . . . .	23
1.7	Règle numéro 2 : Franchissement d'une transition . . . . .	24
1.8	Règle numéro 3 : Évolution des étapes actives . . . . .	24
1.9	Règle numéro 4 : Évolution simultanée . . . . .	25
1.10	Divergence en OU . . . . .	26
1.11	Divergence en OU avec exclusion . . . . .	27
1.12	Convergence en OU . . . . .	28
1.13	Schéma fonctionnel de l'automatisme . . . . .	29
1.14	GRAFCET du chariot multi-vitesses . . . . .	30
1.15	GRAFCET du chariot multi-vitesses simplifié . . . . .	30
1.16	Divergence en ET . . . . .	31
1.17	Convergence en ET . . . . .	32
1.18	Schéma descriptif de l'automatisme . . . . .	33
1.19	GRAFCET de la gestion des deux chariots . . . . .	35
1.20	Exemple de saut d'étape . . . . .	36
1.21	Décomposition en deux séquences . . . . .	37
1.22	Principe de la reprise d'une séquence . . . . .	38
1.23	Le principe d'une macro-étape. . . . .	39
1.24	Le principe d'une macro-étape. . . . .	41
1.25	Schéma synoptique du remplissage d'un bac. . . . .	42
1.26	GRAFCET du système de remplissage du bac. . . . .	44
1.27	GRAFCET du système de remplissage du bac en utilisant une macro-étape. . . . .	45
1.28	Définition du forçage. . . . .	45
1.29	Forçage : Initialisation. . . . .	46
1.30	Forçage : Situation spécifique. . . . .	47
1.31	Forçage : Situation vide. . . . .	48
1.32	Le Figeage : Situation courante. . . . .	49
1.33	Schéma fonctionnel de l'automatisme. . . . .	50
1.34	GRAFCET du fonctionnement normal du chariot (GFN). . . . .	50
1.35	GRAFCET du fonctionnement normal du chariot (GFN) simplifié. . . . .	51
1.36	GRAFCET de mise en défaut du chariot (GS). . . . .	52

1.37	Cas pratiques de la hiérarchisation . . . . .	54
1.38	GS : GRAFCET de Sécurité . . . . .	56
2.1	Schéma synoptique d'un automate à base de la carte Arduino. . . . .	58
2.2	Exemples des cartes Arduino : (A) : Uno, (B) : Pro Mini, (C) : Nano, (D) : Mega, (E) : Due. . . . .	60
2.3	Interface de puissance entre la carte Arduino et l'organe de puissance. . .	62
2.4	Exemples de cartes relais multivoies (10A/220VAC, 10A/30VDC) . . . . .	64
2.5	Schéma de principe de commande d'une machine triphasée avec une carte relais. . . . .	64
2.6	Schéma de principe de la commande d'une machine triphasée avec un contacteur. . . . .	65
2.7	Technique 1 : Utilisateur de quatre contacts. . . . .	67
2.8	Technique 2 : Déploiement de deux contacts à deux positions (deux relais inverseurs). . . . .	67
2.9	Technique 3 : Amélioration des techniques 1 et 2 : Ajout du contact de coupure de l'alimentation. . . . .	68
2.10	Inversion de sens de rotation d'une machine triphasée. . . . .	70
2.11	Principe de conversion de la sortie d'un capteur en détecteur. . . . .	72
2.12	GRAFCET du contrôle de l'allumage d'une lampe (ou LED) avec Arduino. . .	73
2.13	Affichage dans le port série des états des étapes. . . . .	78
2.14	Exemple d'un GRAFCET constitué de 8 étapes, 6 entrées et 7 sorties. . .	79
2.15	Affichage dans le port série de l'état des actions de l'étape 5 (voir la Figure. 2.16). . . . .	82
2.16	Schéma du principe de lecture des capteurs et détecteurs d'un GRAFCET. . .	83
2.17	Schéma du principe de lecture des capteurs et détecteurs d'un GRAFCET. . .	83
2.18	Affichage des états des entrées (voir les figures 2.16 et 2.17). . . . .	85
2.19	Calcul d'une transition en fonction de l'étape et la réceptivité. . . . .	86
2.20	Franchissement de la transition 0 : $\text{Trans}[0]=1$ (voir la Figure. 2.16). . . .	88
2.21	Franchissement de la transition 6 : $\text{Trans}[6]=1$ (voir la Figure. 2.16). . . .	88
2.22	Principe de mise à jour des étapes en fonction des transitions. . . . .	89
2.23	Exemple d'un GRAFCET constitué de 6 transitions avec deux séquences simultanées. . . . .	90
2.24	Franchissement de la transition 0 : $\text{Trans}[0]=\text{true}$ (voir la Figure. 2.23). . .	92
2.25	Franchissement de la transition 6 : $\text{Trans}[6]=\text{true}$ (voir la Figure. 2.23). . .	93
2.26	Schéma fonctionnel de la commande de deux lampes. . . . .	94
2.27	Architecture matérielle du système de l'allumage des lampes. . . . .	95
2.28	Exemples des cartes relais multivoies. . . . .	96
2.29	Le GRAFCET de la commande de l'allumage des lampes. . . . .	97
2.30	Le GRAFCET de la commande de l'allumage des lampes. . . . .	97
3.1	Schéma fonctionnel du système de remplissage et vidange d'un réservoir. . .	104
3.2	Architecture matérielle d'un système de remplissage avec Arduino. . . . .	105
3.3	GRAFCET d'un système du remplissage et vidange d'un réservoir. . . . .	108
3.4	Solution 1 : Ajout d'un détecteur dans le réservoir source. . . . .	115
3.5	Schéma synoptique d'un inverseur de source avec un réseau de secours. . .	116
3.6	Synthèse des signaux PrinActif et SecActif. . . . .	117
3.7	Architecture matérielle de l'inverseur de source. . . . .	119
3.8	GRAFCET de l'inverseur de source de secours. . . . .	120
3.9	Définition des transitions de l'inverseur de source de secours. . . . .	126
3.10	Schéma synoptique de l'automatisation d'un chauffage électrique. . . . .	129



3.11	Cycle hystérésis du fonctionnement du chauffage électrique. . . . .	129
3.12	Architecture matérielle à base de la carte Arduino de la commande automatique d'un chauffage électrique à deux sources. . . . .	131
3.13	GRAFCET de la gestion des sources (G1). . . . .	133
3.14	GRAFCET de la gestion du chauffage (G2). . . . .	133
3.15	Schéma synoptique d'une commande IR multimodes (M0, M1, etc.). . . . .	143
3.16	Schéma synoptique de la commande IR commune de plusieurs machines. . . . .	146
3.17	Schéma synoptique de la commande IR des machines indépendantes. . . . .	147
3.18	Schéma synoptique de la commande IR d'un curseur automatique. . . . .	148
3.19	Commande IR d'une caméra montée sur un curseur. . . . .	149
3.20	Capteur de distance à ultrasons HC-SR04. . . . .	151
3.21	Le récepteur IR AX-1838HS. . . . .	152
3.22	Exemples de télécommandes IR. . . . .	153
3.23	Tableau de codage d'une télécommande IR à 21 et 20 touches. . . . .	153
3.24	Exemple d'un moteur PAP 28BYJ-48 intégré dans la partie motorisée du curseur. . . . .	154
3.25	Les chronogrammes de la commande d'un moteur pas à pas en mode demi-pas. . . . .	155
3.26	Le GRAFCET de la commande du déplacement de la caméra. . . . .	156
3.27	Schéma de principe de la commande électronique simplifiée d'une porte blindée. . . . .	162
3.28	Architecture avec Arduino de la commande d'une porte blindée. . . . .	163
3.29	Architecture optimale de la commande d'une porte blindée. . . . .	165
3.30	Module capteur du courant ACS712. . . . .	166
3.31	Caractéristiques du capteur ACS712 (voir le datasheet du composant pour plus de détails). . . . .	167
3.32	Schéma synoptique du GRAFCET principal de la commande d'une porte blindée (G1). . . . .	168
3.33	Schéma synoptique du GRAFCET de la gestion de la surintensité (G2). . . . .	169
3.34	Schéma de principe de la commande de l'ouverture de la porte. . . . .	174
3.35	Schéma synoptique du système d'irrigation autonome. . . . .	178
3.36	Architecture matérielle du système d'arrosage autonome. . . . .	179
3.37	GRAFCET du système d'arrosage autonome. . . . .	181
3.38	Architecture interne du composant DS1307. . . . .	182
3.39	Schéma synoptique de l'ascenseur. . . . .	188
3.40	Schéma synoptique des sous-systèmes de la commande de l'ascenseur. . . . .	189
3.41	Architecture matérielle de commande d'un ascenseur à 8 étages. . . . .	190
3.42	Schéma de la commande du moteur de la cabine. . . . .	191
3.43	Le GRAFCET de la Gestion de la porte de la cabine (G2). . . . .	193
3.44	Le GRAFCET de la gestion des appels (G3). . . . .	194
3.45	Ordonnancement des tâches dans le cas du cycle de la descente de la cabine (A). . . . .	196
3.46	Ordonnancement des tâches dans le cas du cycle de la descente de la cabine (B). . . . .	197
3.47	Ordonnancement des tâches dans le cas du cycle de la descente de la cabine (C). . . . .	198
3.48	Le GRAFCET de la Gestion du déplacement de la cabine (G4)(Partie 1). . . . .	199
3.49	Le GRAFCET de la Gestion du déplacement de la cabine (G4)(Partie 2). . . . .	200
3.50	Schéma synoptique du GRAFCET de la gestion du blocage de la porte (G5). . . . .	202
3.51	Schéma synoptique du GRAFCET principal du système (G1). . . . .	203



# Liste des tableaux

2.1	Les ressources en mémoire en kilo-octets (1024 octets) des cartes Arduino (voir la Figure.2.2). . . . .	60
2.2	Les E/S et les périphériques de communication. . . . .	61
2.3	Les E/S de l'automate et les pins de la carte Arduino. . . . .	94
3.1	Les E/S d'un système de remplissage avec Arduino constitué de 3 entrées (Inputs[0]-Inputs[2]) et 5 sorties (Outputs[0]-Outputs[4]) digitales. . . . .	106
3.2	Exemples des pompes piscine monophasées. . . . .	106
3.3	Les E/S de l'inverseur de source avec Arduino constitué de 3 entrées (Inputs[0]-Inputs[2]) et 4 sorties (Outputs[0]-Outputs[3]) digitales. . . . .	118
3.4	Les E/S de l'inverseur des sources avec Arduino constitué de 3 entrées (InputsG1[0]-InputsG1[2]) et 3 sorties (OutputsG1[0]-OutputsG1[2]) digitales. . . . .	132
3.5	Les E/S du système de chauffage constitué de 4 entrées (InputsG2[0]-InputsG2[3]) et 2 sorties (OutputsG2[0]-OutputsG2[1]) digitales. . . . .	132
3.6	Les E/S de la commande du curseur de la caméra avec Arduino constitué de 6 entrées, 8 sorties et 2 E/S. . . . .	150
3.7	Les E/S du système la commande de la porte blindée avec Arduino (G1). . . . .	165
3.8	Les E/S du G1 pour la surveillance du courant. . . . .	165
3.9	Les E/S du système de l'arrosage autonome. . . . .	180
3.10	Les E/S du système de la commande de l'ouverture de la porte de la cabine(G2). . . . .	192
3.11	Les E/S du système de la gestion des appels (G3). . . . .	193
3.12	Les E/S du système de gestion du déplacement de la cabine (G4). . . . .	195
3.13	Les E/S du G5 pour la surveillance du blocage de la porte (G5). . . . .	201
3.14	Les E/S du du GRAFCET principal (G1). . . . .	201