AGREGATION D'INFORMATIQUE – Session de 1999

Admissibilité

Epreuve d'application
Option : Informatique des systèmes industriels

AUTOMATISATION DE LA CONDUITE D'UNE LIGNE DE PRODUCTION DE PRODUITS COSMETIQUES

A/ PRESENTATION

Introduction

L'étude porte sur l'automatisation de la conduite d'une ligne de fabrication, de conditionnement et de palettisation de produits cosmétiques. Cette ligne, représentée figure 1, comporte :

- 4 unités de production :

  - une unité de fabrication : elle permet la fabrication de produits cosmétiques,
  - une unité de conditionnement : elle permet d'injecter ces produits dans des récipients, de les fermer et de les étiqueter,
  - une unité d'encaissage : elle permet de regrouper les récipients et de les placer dans des cartons,
  - une unité de palettisation : elle permet d'empiler les cartons pleins sur des palettes.

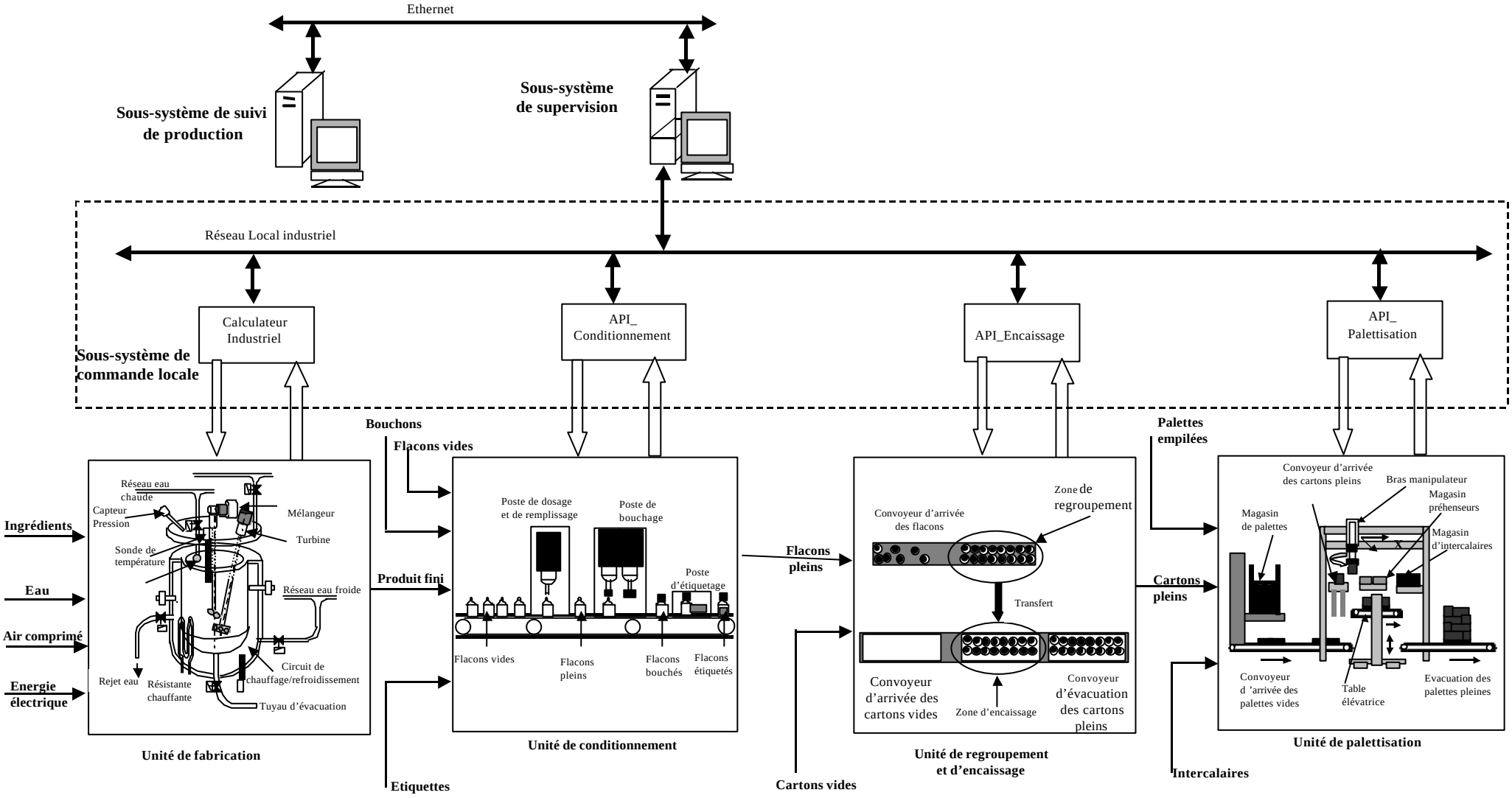


Figure 1 - Ligne de production de produits cosmétiques

- et d'un système informatique réparti de conduite. Celui-ci est composé de trois sous-systèmes :

- un sous-système de suivi de la production,
- un sous-système de supervision,
- un sous-système de commande locale.

Le sous-système de suivi de la production est implanté sur une station de travail, le sous-système de supervision est implanté sur un micro-ordinateur, alors que le sous-système de commande locale est implanté sur une architecture répartie constituée d'un calculateur industriel pour la commande de l'unité de fabrication et de trois automates programmables pour la commande des autres unités, interconnectés par un réseau local industriel.

Le sous-système de supervision est connecté, d'une part, au sous-système de suivi de production par un réseau local Ethernet, et d'autre part, au sous-système de commande locale par le réseau local industriel.

Le problème posé porte sur l'étude de la commande de l'unité de fabrication, de la commande de l'unité de palettisation et de la gestion des communications entre sous-systèmes.

1. Présentation générale

1.1 Unité de fabrication

L'unité de fabrication assure la production de 3 types de produits cosmétiques : liquide (lait à usage cosmétique), semi-visqueux (crème à usage cosmétique), visqueux (gel). Le principe de fabrication consiste à faire une émulsion des produits à l'aide d'une turbine à haute vitesse suivie d'un malaxage à basse vitesse à l'aide d'un mélangeur lent, à une température et à une pression constantes. Le chargement des ingrédients dans la cuve et l'ouverture/fermeture de la cuve se font manuellement. Une fois la fabrication terminée, le produit résultant est refroidi puis évacué dans une conduite vers la doseuse de l'unité de conditionnement.

Remarque : Une description complète est fournie au paragraphe §2.

1.2 Unité de conditionnement

Le produit est conditionné en flacons ou en pots selon son type. L'unité de conditionnement assure le remplissage, le bouchage et l'étiquetage de ces récipients. Le remplissage des récipients est réalisé, à froid, à l'aide d'une doseuse pneumatique. Le bouchage est réalisé par une visseuse à deux têtes (∅ 20 mm pour les flacons et ∅ 60 mm pour les pots). Une étiqueteuse dépose des étiquettes adhésives sur les récipients.

Pour effectuer ce parcours, les récipients sont déposés sur un convoyeur qui les emmène vers la doseuse, puis vers la visseuse et enfin vers l'étiqueteuse. Par la suite, ils sont conduits par le même convoyeur vers une unité de regroupement et d'encaissage.

1.3 Unité de regroupement et d'encaissage

Dans cette unité, les récipients pleins sont rassemblés dans une zone de regroupement. Un deuxième convoyeur, parallèle au premier, amène des cartons vides. Un système de positionnement assure la mise en place des cartons un à un dans une zone d'encaissage. Un dispositif de transfert horizontal, muni de préhenseurs à ventouses, permet la saisie des récipients (16 à la fois) et leur transfert dans le carton positionné préalablement dans la zone d'encaissage. Les cartons pleins sont conduits par le convoyeur vers l'unité de palettisation.

1.4 Unité de palettisation

L'unité de palettisation assure la mise en place des cartons sur des palettes. Les cartons sont disposés sur cinq rangées, de huit cartons chacune (selon une disposition préétablie), séparées par des intercalaires. Les palettes vides sont stockées dans un magasin et libérées à la demande sur un convoyeur qui les amène vers une table élévatrice. Cette table assure le positionnement de la palette dans un même plan horizontal que le convoyeur d'arrivée des cartons pleins. Un bras manipulateur assure le transfert des cartons pleins et des intercalaires sur la palette à l'aide de deux préhenseurs appropriés. Le magasin des intercalaires, le magasin des préhenseurs, le convoyeur d'arrivée des cartons pleins sont situés sur le plan horizontal décrit par la trajectoire du bras manipulateur.

Chaque fois qu'une rangée est terminée, la table élévatrice descend d'un cran pour assurer un chargement dans le même plan. Au bout de la cinquième rangée, la table élévatrice se retrouvant au même niveau que le convoyeur d'évacuation des palettes, transborde la palette vers ce dernier. Enfin, les palettes sont conduites vers la zone d'évacuation où le déchargement est assuré manuellement.

Remarque : Une description complète est fournie au paragraphe §3.

1.5 Architecture du système informatique

L'architecture proposée pour la conduite de la ligne de production (figure 1) comporte :

- **Une station de travail fonctionnant sous Unix** supportant le sous-système de suivi de la production. Elle contient une base de données regroupant :
    - les informations concernant les différentes recettes de fabrication,
    - les plans journaliers de production établis par les services de planification,
    - les plans de maintenance.

  Ces informations sont accessibles au sous-système de supervision. Elle tient à jour également un journal de bord du fonctionnement de la ligne de production.

- **Un micro-ordinateur de type PC** fonctionnant sous Windows supportant le sous-système de supervision. Ce poste est équipé d'une carte « Applicom » qui implante le protocole MODBUS, d'une carte réseau Ethernet et d'un progiciel de supervision. Il assure :
    - le lancement de la production à partir du plan de production journalier fourni par le sous-système de suivi de production,
    - l'acquisition de la recette à partir de la base de données du sous-système de suivi de production et le paramétrage du sous-système de commande locale (consignes de température, pression, type de produit….),
    - le suivi du fonctionnement en temps réel des différentes unités composant la ligne de production sur différentes pages de synoptiques (évolution des différentes variables, état des actionneurs et des capteurs, etc.),
    - l'affichage et l'enregistrement des différentes alarmes survenant sur la ligne de production, ainsi que leurs acquittements,
    - le changement du mode de fonctionnement de chacune des unités (mode automatique / mode réglage),
    - le pilotage manuel (en mode réglage) des différentes unités. Dans ce cas, chaque actionneur peut être piloté individuellement à partir du synoptique. Cela est nécessaire pour la mise au point de chacune des unités ou pour la maintenance de la ligne.

- **Un système de commande répartie** qui supporte le sous-système de commande locale. Il est composé :
    - D'un calculateur industriel construit autour d'un bus VME constitué de :
        - une carte unité centrale à base d'un microprocesseur 68040 supportant une interface série à la norme RS485,
        - une carte fille VME équipée d'un module 16 entrées TOR, d'un module 16 sorties TOR, d'un module convertisseur analogique-numérique 8 voies et d'un module convertisseur numérique-analogique à 2 voies de sorties.

Il supporte aussi un exécutif temps réel pour la commande de l'unité de fabrication.

- de 3 Automates Programmables Industriels pour la commande des unités de conditionnement, de regroupement et d'encaissage et de palettisation ;
- d'un réseau local industriel fonctionnant sous protocole MODBUS. Ce réseau interconnecte l'unité centrale et les trois automates. Il assure également la connexion du sous-système de commande locale au PC de supervision.

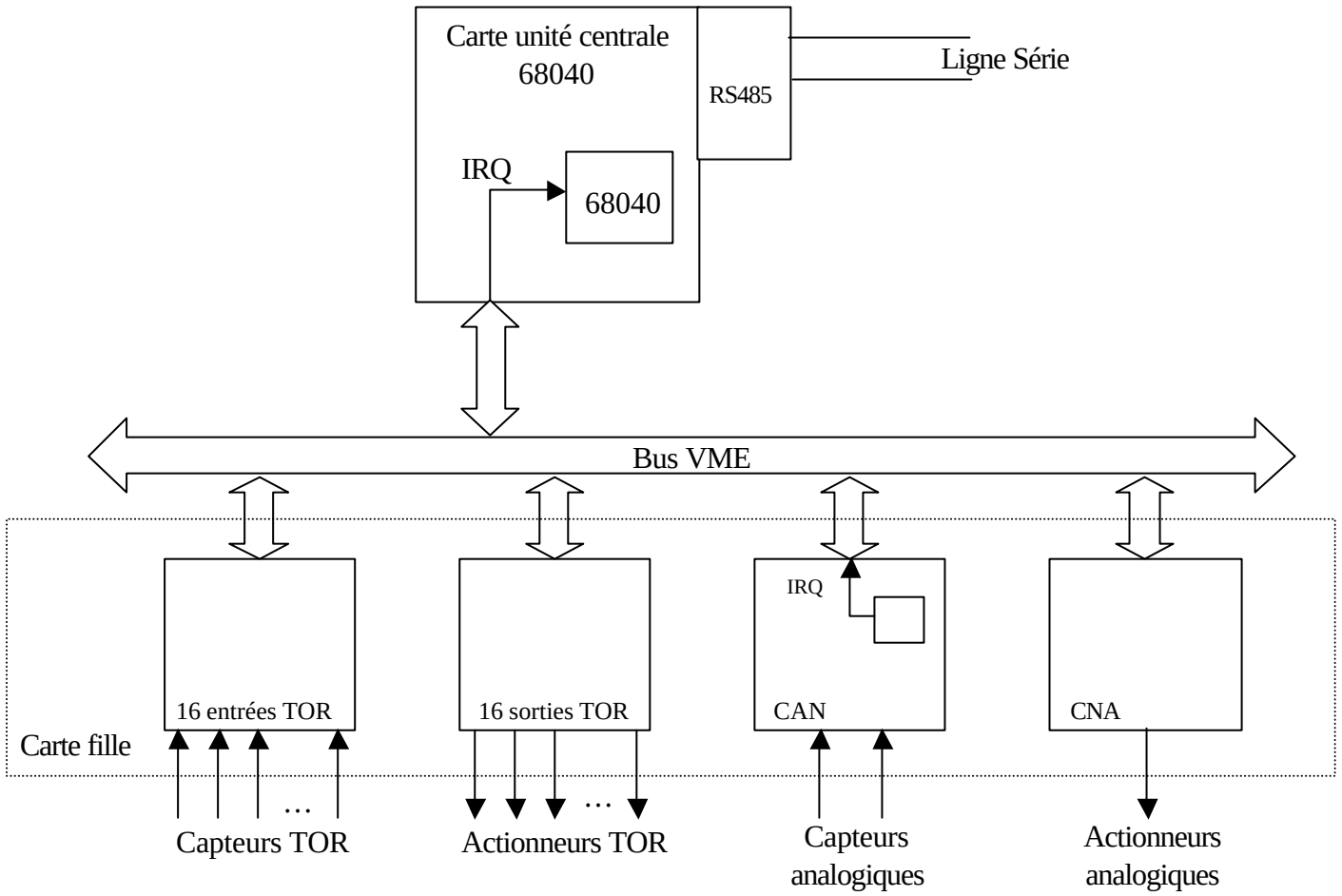


Figure 2 – Architecture du calculateur industriel

2. Etude de la commande de l'unité de fabrication

2.1 Description de la partie opérative

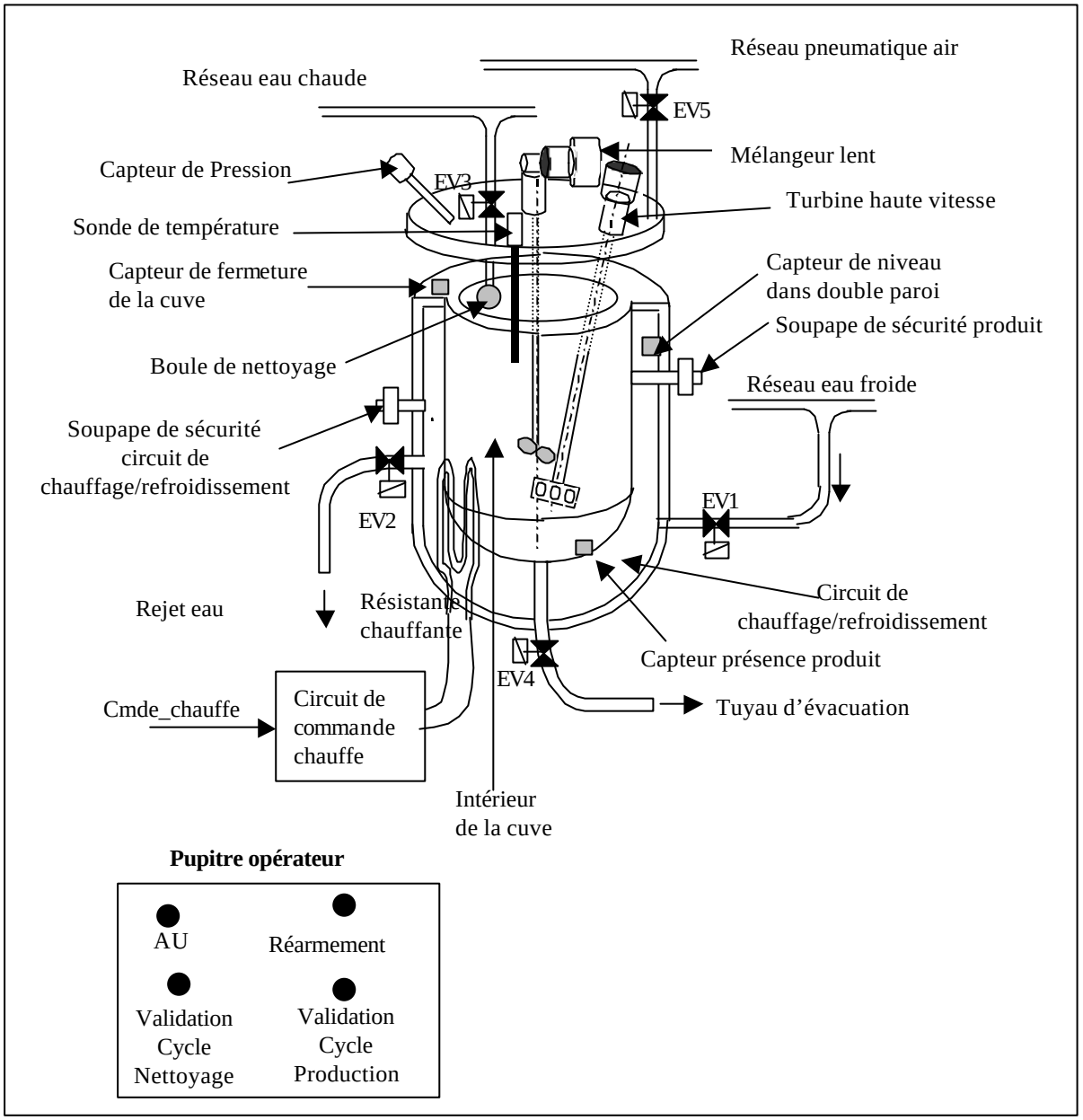


Figure 3 - Description de l'unité de fabrication

L'unité de fabrication (figure 3) comporte une cuve à double paroi pour la fabrication des produits cosmétiques. L'intérieur de la cuve sert à contenir le produit. Elle est enveloppée par un circuit de chauffage/refroidissement dans la paroi externe qui est remplie d'eau en permanence. Une résistance de chauffage dans la paroi externe (circuit de chauffage/ refroidissement) permet de chauffer la cuve aux températures de consignes. Une boule de nettoyage à 360° permet de nettoyer la cuve en y injectant de l'eau chaude.

Le contrôle/commande de l'unité de fabrication s'effectue grâce aux éléments décrits dans les tableaux suivants :

Capteurs :

Nature	Type	Information captée	Variable associée
Capteur de pression	ANA[1]	Pression interne cuve	Pression_Cuve
Sonde de température	ANA	Température de la cuve	Temp_Cuve
Capteur fermeture cuve	TOR[2]	Cuve fermée	Cuve_Fermée
Capteur présence produit	TOR	Pas de produit dans la cuve	Cuve_Vide
Capteur de niveau dans double paroi	TOR	Circuit de chauffage/refroidissement plein	Cir_CHR_Plein

Actionneurs :

Nature	Type	Rôle fonctionnel	Variable associée
Circuit de commande chauffe	ANA	Alimentation de la résistance chauffante	Cmde_Chauffe
Electrovanne EV1	TOR	Injection de l'eau froide dans la double paroi (refroidissement)	O/F_EV1
Electrovanne EV2	TOR	Evacuation de l'eau de refroidissement	O/F_EV2
Electrovanne EV3	TOR	Injection de l'eau chaude dans la boule de nettoyage	O/F_EV3
Electrovanne EV4	TOR	Evacuation du contenu de la cuve	O/F_EV4
Electrovanne EV5 avec clapet anti-retour	TOR	Injection d'air comprimé dans la cuve	O/F_EV5
Mélangeur lent	TOR	Malaxage du produit à basse vitesse (23 tr/min)	M/A_Mélangeur
Turbine haute vitesse	TOR	Emulsifier le produit à haute vitesse (1500tr/min)	M/A_Turbine

Pupitre opérateur :

Nature	Type	Information	Variable associée
Bouton poussoir AU	TOR	Demande d'arrêt d'urgence	AU
Bouton poussoir Réarmement	TOR	Demande de réarmement après arrêt d'urgence	Réarmement
Bouton poussoir Validation Cycle Nettoyage	TOR	Fin de l'opération manuelle avant exécution du nettoyage	Valid_Cy_Nett
Bouton poussoir Validation Cycle Production	TOR	Fin de l'opération manuelle avant exécution d'un cycle de production	Valid_Cy_Prod

Eléments de sécurité : (non commandés par le système)

Nature	Rôle
Soupape de sécurité produit	Limite la pression interne de la cuve à 2 bars
Soupape de sécurité circuit de chauffage/refroidissement	Limite la pression du circuit de chauffage/refroidissement à 2 bars

[1] ANA : Analogique

[2] TOR : Tout ou Rien

2.2 Fonctionnement

Le rôle de l'unité de fabrication est de préparer les produits cosmétiques à partir des ingrédients en respectant les paramètres de fonctionnement. Le poste de supervision affiche à l'opérateur la nature et les quantités d'ingrédients à mettre dans la cuve et transmet à l'unité de fabrication les paramètres de fonctionnement : température d'émulsion T1, pression d'émulsion P1, durée de l'émulsion Δt1, température de malaxage T2, pression de malaxage P2, durée de malaxage Δt2 et pression d'évacuation P3.

2.2.1 Description du fonctionnement normal

Les opérations manuelles et automatiques s'enchaînent toujours de la manière suivante :

- Phase 1 : Opérations manuelles de préparation à la production
- Phase 2 : Cycle de production
- Phase 3 : Opérations manuelles de préparation au nettoyage
- Phase 4 : Cycle de nettoyage

Description détaillée de la phase 1 :

L'opérateur charge les ingrédients de la recette dans la cuve, ferme le couvercle et oriente le tuyau d'évacuation vers la doseuse. Ensuite, il valide la fin des opérations manuelles en appuyant sur le bouton « Validation Cycle Production » (Valid_Cy_Prod) du pupitre.

Description détaillée de la phase 2 :

Le cycle de production automatique enchaîne les étapes suivantes :

- brasser jusqu'à émulsion pendant un temps Δt1 à une pression régulée P1 et une température régulée T1,
- malaxer le produit pendant un temps Δt2 à une pression régulée P2 et une température régulée T2,
- refroidir le produit par arrêt de la chauffe et circulation d'eau froide dans le circuit de chauffage/refroidissement jusqu'à ce que la température du produit soit inférieure à 30 °C (commande des électrovannes EV1 et EV2).
- évacuer le produit vers la doseuse, en maintenant une pression P3 dans la cuve interne (commande EV5) et en commandant l'ouverture de l'électrovanne EV4.

Description détaillée de la phase 3 :

L'opérateur oriente le tuyau d'évacuation vers les eaux usées et valide la fin de l'opération manuelle en appuyant sur le bouton « Validation Cycle Nettoyage » (Valid_Cy_Nett) du pupitre.

Description détaillée de la phase 4 :

Le cycle de nettoyage automatique consiste à injecter l'eau chaude dans la boule de nettoyage pendant 30 secondes en agissant sur l'électrovanne EV3.

2.2.2 Description de la régulation de température

La régulation de la température intérieure de la cuve est une régulation numérique de type PID agissant sur le circuit de commande de chauffe.

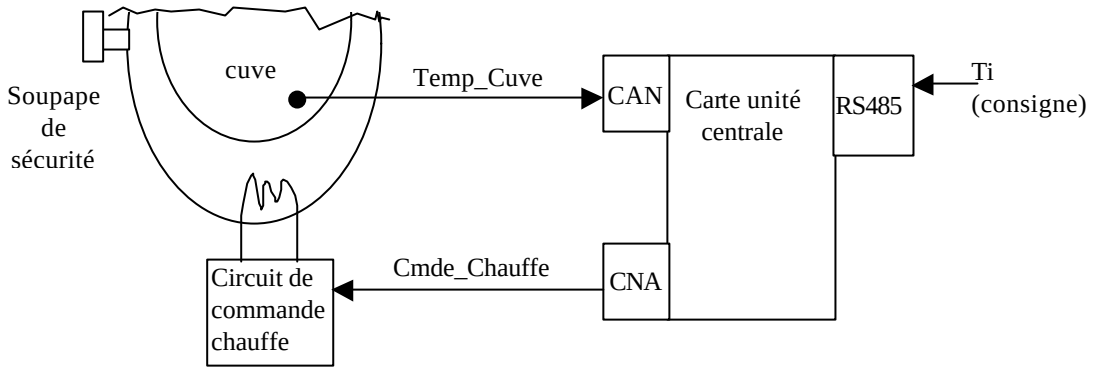


Figure 4 – Description de la régulation de température

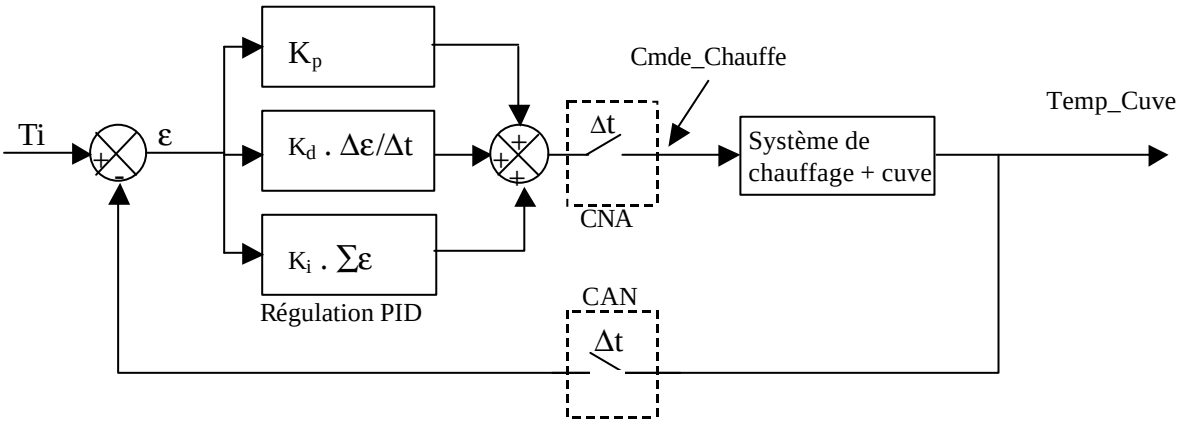


Figure 5 – Boucle de régulation de température

2.2.3 Description de la régulation de pression

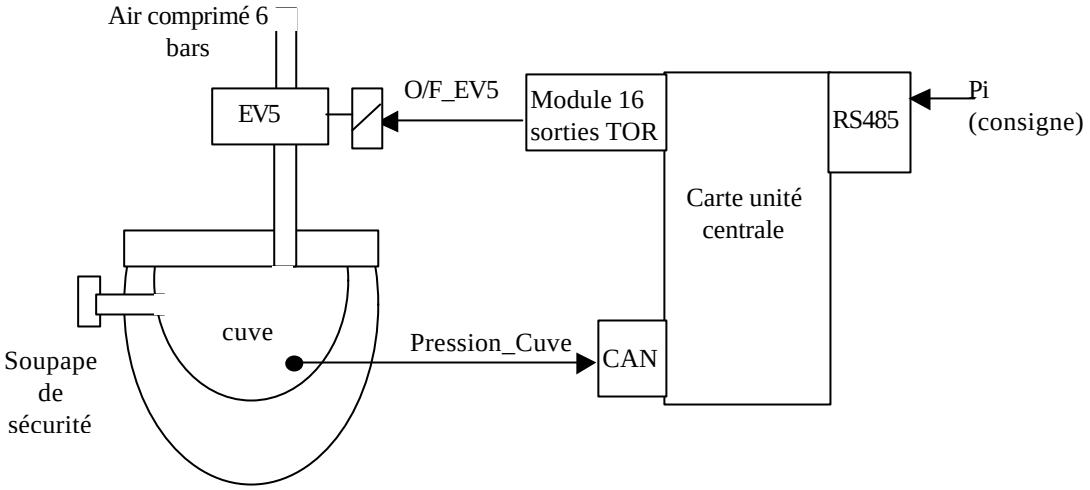


Figure 6 - Description de la régulation de pression

La régulation de pression est une régulation tout ou rien qui assure le maintien d'une pression minimale P, à l'intérieur de la cuve, imposée par le superviseur. La régulation agit sur l'électrovanne EV5 qui alimente la cuve en air comprimé. Les soupapes de sécurité autonomes maintiennent une pression maximale de 2 bars au niveau du circuit de chauffage/refroidissement et de la cuve interne.

Remarque : dans toutes les recettes les pressions P1, P2 et P3 sont croissantes
(P1 < P2 < P3).

La spécification partielle par SA-RT de la commande de l'unité de fabrication est fournie en annexe C1.

3. Etude de la commande de l'unité de palettisation

3.1 Description de la partie opérative

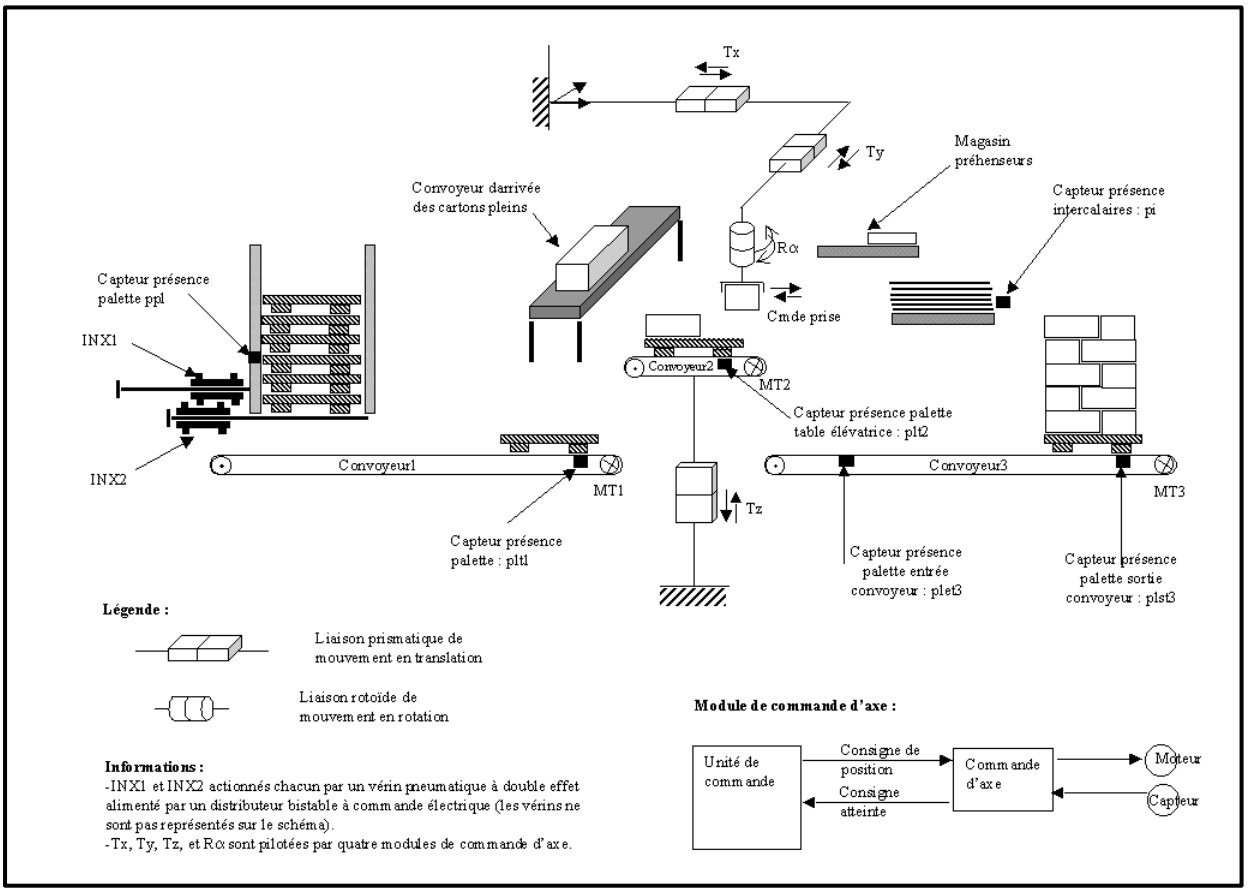


Figure 7 - Description de la partie opérative de l'unité de palettisation

L'unité de palettisation comporte (voir figure 7) :

- Un système de dépilage de palettes comprenant un stock de palettes, et deux indexeurs INX1 et INX2, actionnés chacun par un vérin pneumatique à double effet alimenté par un distributeur bistable à commande électrique, qui permettent de libérer les palettes une à une sur demande. Ce système est équipé d'un capteur (ppl) qui indique la présence d'au moins trois palettes dans le stock.
- Un convoyeur qui amène les palettes libérées vers la table élévatrice (Convoyeur1). Il est actionné par le moteur d'entraînement MT1. Un capteur (plt1) indique la présence d'une palette au bout du convoyeur.
- Une table élévatrice qui maintient le niveau de chargement dans le plan du convoyeur d'arrivée des cartons pleins et des magasins. Le déplacement vertical Tz de cette table est assuré par un module de commande d'axe. Un convoyeur de transbordement (Convoyeur2), actionné par le

moteur d'entraînement MT2, permet le chargement et le déchargement des palettes sur la table élévatrice. Un capteur (plt2) indique la présence d'une palette sur la table élévatrice.

- Un bras manipulateur qui assure le transfert des cartons pleins et des intercalaires sur la palette. Il est équipé d'une tête de préhension à serrage pneumatique qui peut supporter deux types de préhenseurs (préhenseur carton et préhenseur intercalaire) disposés dans un magasin approprié. Ce bras manipulateur possède trois degrés de liberté : translation Tx, translation Ty et rotation Rα de la tête de préhension autour d'un axe vertical. Ces mouvements sont assurés par trois modules de commande d'axe.
- Un magasin d'intercalaires équipé d'un capteur (pi) qui indique la présence d'au moins 5 intercalaires.
- Un convoyeur d'évacuation des palettes pleines (Convoyeur3) actionné par un moteur d'entraînement MT3. Un capteur (plet3) indique l'arrivée de la palette pleine sur le convoyeur. Un second capteur (plst3) indique la présence d'une palette pleine à la sortie du convoyeur.

Les pré-actionneurs et les capteurs sont décrits dans les tableaux suivants :

Pré-actionneurs :

Nature	Rôle	Variable associée à la commande
Distributeur du vérin actionnant INX1	Bloquer INX1	INX1+
	Libérer INX1	INX1-
Distributeur du vérin actionnant INX2	Bloquer INX2	INX2+
	Libérer INX2	INX1-
Contacteur moteur MT1	Marche/Arrêt MT1	KMT1
Contacteur moteur MT2	Marche/Arrêt MT2	KMT2
Contacteur moteur MT3	Marche/Arrêt MT3	KMT3

Modules de commande d'axe

Nature	Rôle	Variable associée à la commande
Commande d'axe de Tz	Positionner la table au niveau i	Consigne_Niv_i
Commande d'axe de Tx	Déplacer le bras manipulateur selon Tx	Consigne_Tx
Commande d'axe de Ty	Déplacer le bras manipulateur selon Ty	Consigne_Ty
Commande d'axe de Rα	Pivoter le bras manipulateur selon Rα	Consigne_Rα

Capteurs :

Nature	Information captée	Variable associée
Capteur de présence	Présence palettes (au moins 3) dans le stock des palettes vides	ppl
Capteur de présence	Présence palette au bout du convoyeur 1	plt1
Capteur de présence	Présence palette sur convoyeur 2 (table élévatrice)	plt2
Capteur de présence	Présence palette en entrée du convoyeur 3	plet3
Capteur de présence	Présence palette en sortie du convoyeur 3	plst3
Capteur de présence	Présence intercalaires dans le stock	pi

Pupitre de commande : (non représenté sur le schéma)

Nature	Rôle	Variable associée
Bouton poussoir	Départ du cycle	dcy
Bouton poussoir	Arrêt d'urgence	au
Bouton poussoir	Mise de la partie opérative en état initial	mei
Bouton poussoir	Arrêt de la partie opérative à la fin du cycle	afc
Bouton poussoir	Passer en mode manuel	manu
Bouton poussoir	Passer en mode automatique	auto
Bouton poussoir	Réarmement après arrêt d'urgence	réarmement
voyant lumineux	Signale le manque d'intercalaires	voy_intercalaire
voyant lumineux	Signale le manque de palettes vide	voy_palette

Informations complémentaires (traitées au paragraphe suivant)

Nature	Description	Variable associée
macro-commande du bras manipulateur	Ranger les carton selon la séquence de type I	Range_I
macro-commande du bras manipulateur	Ranger les carton selon la séquence de type II	Range_II
macro-commande du bras manipulateur	Placer une intercalaire	Place_Inter
Variable interne	Fin de séquence rangement de carton de type I	FS_Range_I
Variable interne	Fin de séquence rangement de carton de type II	FS_Range_II
Variable interne	Fin de séquence de placement d'intercalaire	FS_Place_Inter
Variable interne	Tout le système est positionné à l'état initial	ei

3.2 Principe de fonctionnement

L'objectif de l'unité de palettisation est de ranger les cartons pleins sur les palettes en vue de leur livraison. Ces cartons sont rangés selon un schéma de rangement bien précis qui assure le maintien de la pile des cartons dans une position stable. Les cartons sont empilés sur 5 rangées. Les cartons des rangées : 1, 3 et 5 sont disposés selon la figure 8-b (type I) et les cartons des rangées 2 et 4, selon la figure 8-c (type II).

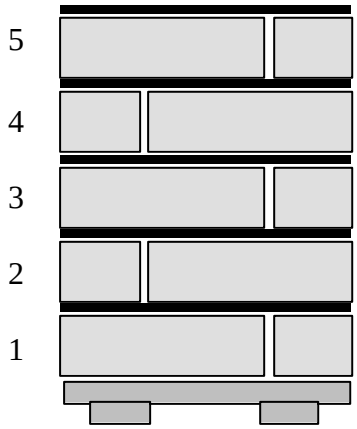


Fig 8a – vue de coté

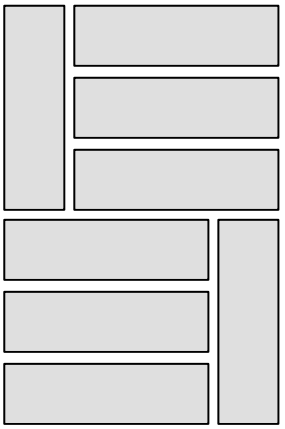


Fig 8b– vue de dessus rangée de type I

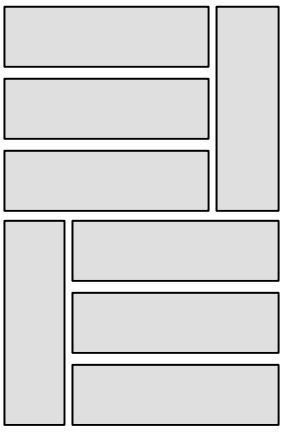


Fig 8c – vue de dessus rangée de type II

Figure 8 (abc) – Schéma de rangement des cartons sur les palettes

Dès que le convoyeur d'arrivée des palettes est vide (capteur (plt1) désactivé), le système de dépilage libère une palette en actionnant les indexeurs INX1 et INX2 suivant deux séquences :

- libération d'une palette : bloquer INX1 et libérer INX2,
- préparation de la prochaine palette : bloquer INX2 et libérer INX1.

Une fois la palette libérée, le convoyeur1 l'amène jusqu'au niveau du capteur (plt1). La palette est alors immobilisée en attendant la libération de la table élévatrice.

A l'initialisation, la table élévatrice est positionnée au même niveau que les convoyeurs 1 et 3. Chaque fois que la table est dans cette position et que le capteur de présence palette (plt2) est désactivé, la palette en attente sur le convoyeur 1 est transbordée sur la table élévatrice par la mise en mouvement des convoyeurs 1 et 2 qui sont arrêtés dès que la palette est bien positionnée sur la table élévatrice ((plt2) activé et (plt1) désactivé).

Dès que la palette vide est positionnée, la table élévatrice doit l'élever au niveau du plan de chargement. Pour cela, une première consigne (Consigne_Niv_1) est envoyée vers la commande d'axe de translation Tz.

Une fois qu'une rangée a été chargée sur la palette, la table élévatrice doit descendre pour permettre le chargement d'une autre rangée. Une nouvelle consigne (Consigne_Niv_i) est alors envoyée vers la commande d'axe et ainsi de suite jusqu'au cinquième et dernier niveau de chargement qui se fait alors que la table élévatrice est positionnée sur le même plan que les convoyeurs. A la fin du chargement de la cinquième rangée, la palette chargée est transbordée vers le convoyeur 3. Ce transbordement est effectué par la mise en mouvement simultanée des convoyeurs 2 et 3.

Remarque : la palette pleine positionnée au niveau du capteur (plst3) est transbordée vers un système d'évacuation qui ne fait pas partie de cette étude.

Le chargement des palettes est assuré par le bras manipulateur dont les différents mouvements (Tx, Ty, Rα) sont assurés par des modules de commande d'axe. Pour simplifier cette étude, on supposera qu'il existe trois séquences permettant de commander les mouvements du bras manipulateur et de la tête de préhension :

Range_I : Permet de commander l'exécution d'une séquence de mouvements pour charger une rangée de type I selon le schéma 5b.
Range_II : Permet de commander l'exécution d'une séquence de mouvements pour charger une rangée de type II selon le schéma 5c.
Place_Inter : Permet de commander l'exécution d'une séquence de mouvements pour charger une intercalaire.

Ces trois séquences doivent être alternées de façon à charger totalement la palette. La fin de chaque séquence est signalée par la génération d'une information de fin séquence (**FS_ Range_I** , **FS_ Range_II** et **FS_ Place_Inter**).

Dès que l'un des capteurs (pi : manque d'intercalaire) ou (ppl : manque de palette) est désactivé, le voyant correspondant sur le pupitre opérateur est allumé et le cycle de palettisation s'arrête à la fin du traitement de la palette en cours. Le prochain cycle ne peut redémarrer qu'après chargement du magasin en rupture de stock.

B/ TRAVAIL DEMANDÉ

Le travail demandé est décomposé en trois parties qui peuvent être traitées de façon indépendante.

1ère Partie : Etude de la commande de l'unité de fabrication

La spécification de la commande de l'unité de fabrication sera effectuée à l'aide de la méthodologie SA-RT selon l'approche Ward et Mellor.

L'implémentation sera effectuée en faisant appel aux primitives du noyau temps réel NTR présenté en annexe C3.

Question I.1

Sur le document réponse N°1, compléter le schéma de transformation ST1.0 « Commander_Mode_Auto » en matérialisant les flots de contrôles (on respectera les noms précisés dans le dictionnaire de données de l'annexe C1).

Question I.2

Sur le document réponse N°2, Compléter le diagramme états-transitions spécifiant la transformation de contrôle « Contrôler_Prod ».

Question I.3

En tenant compte des choix matériels retenus, compléter sur le document réponse N°3 le schéma préliminaire en y ajoutant les transformations d'entrées/sorties qui réalisent les échanges physiques entre le système et son environnement.

Question I.4 :

Identifier les tâches du système et préciser leurs natures (logicielles ou matérielles) et leurs priorités respectives.

Questions I.5 :

On ne s'intéresse qu'à l'implantation des tâches de régulations à l'aide des services d'un noyau temps réel dont les primitives les plus importantes sont fournies en annexe C3. L'organisation inter-tâches est décrite par le schéma de la figure 9.

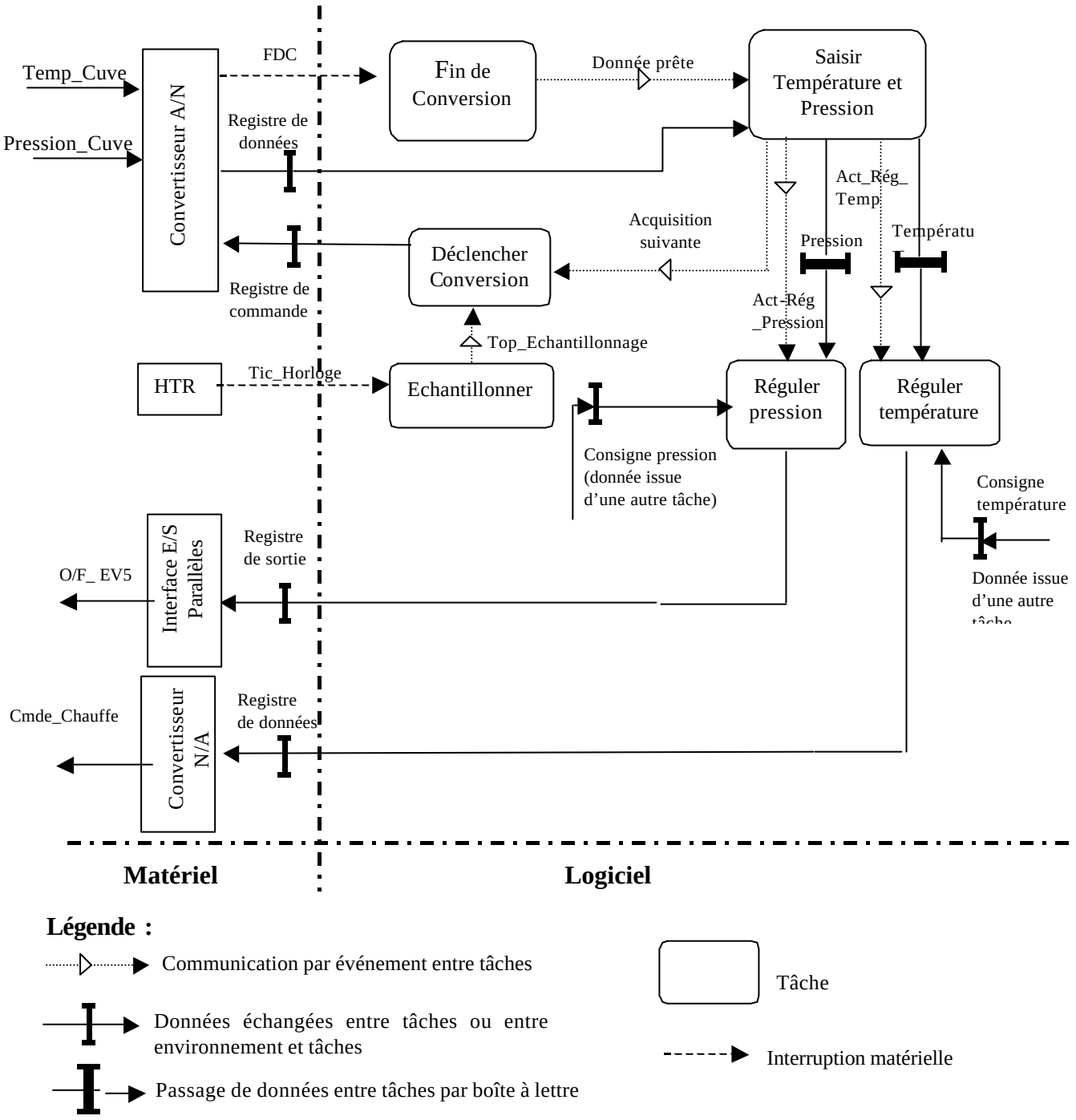
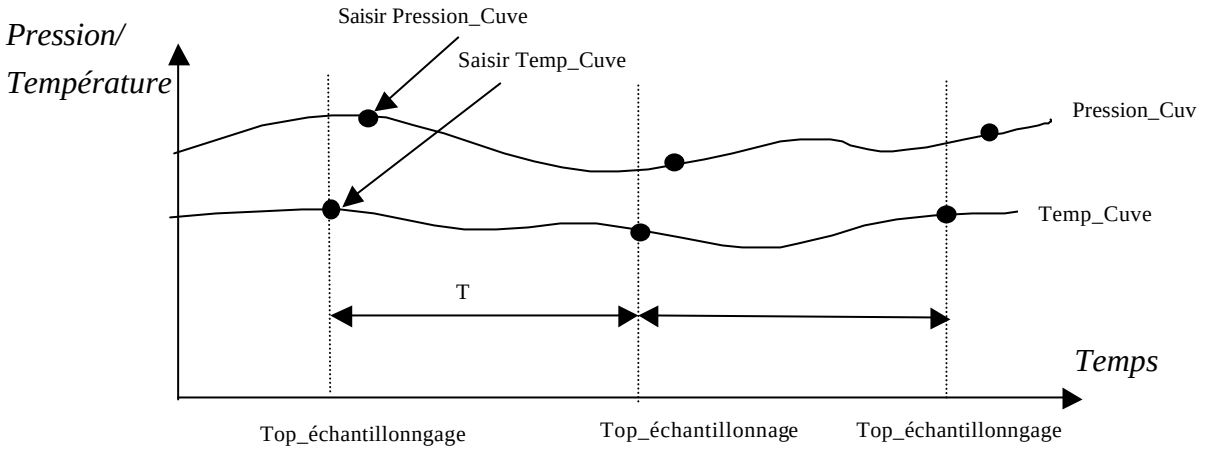


Figure 9 - Schéma d'organisation des tâches de régulation

A chaque Top_Echantillonnage l'ensemble des tâches "Déclencher Conversion", "Fin de Conversion" et "Saisir Température et Pression" effectuent les acquisitions successives de Temp_Cuve et de Pression_Cuve sur chacune des voies 1 et 2 du convertisseur (figure 10).

La fréquence de l'horloge temps réel de la carte 68040 est réglée à 100HZ, la période d'échantillonnage est fixée par le cahier des charges à 50 ms.



T : période d'échantillonnage

Figure 10 – Echantillonnage (1ère méthode)

a- Compléter le chronogramme fourni sur le document réponse N°4 en y faisant figurer :
- Les états respectifs (active ou bloquée) des différentes tâches au cours du temps.
- La prochaine date du Top_Echantillonnage.

b- Quelle contrainte relative aux durées d'exécution des tâches doit-on respecter afin d'assurer un fonctionnement correct.

c- Ecrire l'algorithme de la tâche "Echantillonner".

d- A partir du schéma d'organisation des tâches de régulation, donner le code des tâches " Déclencher conversion ", " Fin de Conversion " et " Saisir Température et Pression " en utilisant les services du noyau temps réel fournis en annexe C3 et les procédures d'accès au convertisseur définies en annexe C2.

e- On veut maintenant effectuer l'échantillonnage des saisies conformément à la figure ci-dessous (figure11):

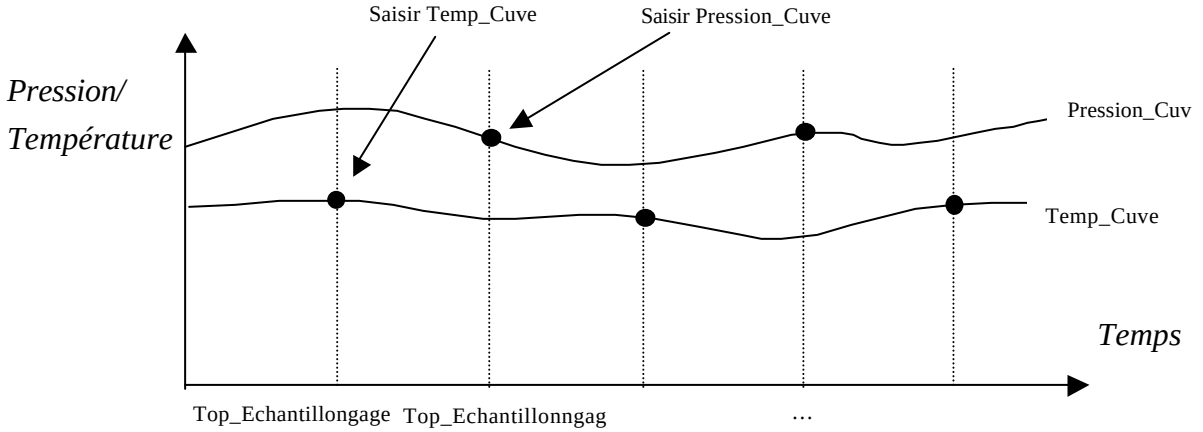


Figure 11 – Echantillonnage (2ème méthode)

e-1 Quelle doit être maintenant la fréquence des Top_Echantillonnage si on veut conserver les contraintes d'acquisition définies par le cahier des charges (voir ci-dessus).

e-2 Mettre en évidence les contraintes induites par cette option.

e-3 Proposez un nouveau schéma d'organisation des tâches de régulation qui prend en compte la modification proposée.

e-4 Donner le nouvel algorithme de la tâche « Echantillonner ».

Question I.6 :

Nous nous intéressons dans cette question à l'implantation de la tâche « Réguler température ». Un rappel théorique concernant la réalisation d'un régulateur numérique PID est fourni en annexe C4.

Fournir le code de la tâche « Réguler température » en langage C.

2ème Partie : Etude de la commande de l'unité de palettisation

Question II.1 :

Produire les Grafcets de sûreté et de conduite en utilisant les modes de marche et d'arrêt défini par le GEMMA (annexe C5).

Question II.2 :

Elaborer le Grafcet du fonctionnement normal en utilisant les macro-étapes définies pour chacune des séquences de commande du bras manipulateur (Range_I, Range_II et Place_Inter).

3ème Partie : Etude des communications sur le réseau local industriel

Le PC de supervision, le calculateur industriel de pilotage de l'unité de fabrication et les trois automates programmables industriels : API Conditionnement, API Regroupement et API Palettisation sont connectés par un réseau local industriel qui fonctionne sous le protocole MODBUS en mode RTU (voir Annexe C6).

La spécification par SA-RT de la commande de l'unité de fabrication fait apparaître une transformation 4.0 «Gérer_Communication » qui se charge de l'émission et de la réception des trames à partir du réseau local industriel (voir schéma préliminaire ST0 de la spécification SA-RT fournie en Annexe C1)

Dans cette partie, nous nous intéressons à l'étude des transformations « Construire_et_Emettre_Trame» et « Lire_et_Interpréter_Trame» obtenues par la décomposition de la transformation 4.0 « Gérer_Communication ». Ces deux transformations décrivent d'une part la réception et l'interprétation des trames reçues par un esclave et d'autre part, la construction et l'émission de trames par un esclave.

Question III.1 :

- **a.** Affecter un rôle (maître ou esclave) à chacun des postes connectés au réseau local industriel. Justifier succinctement votre choix.
- **b.** Attribuer à chaque poste une adresse MODBUS.

Question III.2 :

Le protocole MODBUS impose la définition de deux zones mémoires : R/W et R. Pour le calculateur industriel de pilotage de l'unité de fabrication, considéré dans cette question comme esclave, ces deux zones correspondent aux stockages "Paramètres_Sys" et "Paramètres_Fon" du schéma préliminaire ST0 de la spécification SA-RT (voir Annexe C1).

Les données sont stockées de manière contiguë dans des mots de 16 bits accessibles respectivement à partir des adresses : @R/W pour la zone mémoire R/W et @R pour la zone mémoire R.

Fournir une représentation des deux zones mémoire sous forme d'un tableau fournissant pour chaque adresse la donnée correspondante. Les données seront placées selon leur ordre d'apparition dans le dictionnaire de données.

Question III.3

Cette question traite de trois types d'échange entre le maître et le calculateur industriel considéré comme esclave :

1er échange : demande du maître de la valeur de la température de la cuve (Temp_Cuve),
2ème échange : demande du maître des paramètres du système (Paramètres_Sys).
3ème échange : demande du maître du lancement d'un nouveau cycle de production en transmettant les paramètres de fonctionnement (Paramètres_Fon).

- **a.** Donner pour chacun de ces échanges la constitution de la trame demande et de la trame réponse sous forme d'une suite d'octets (on ne calculera pas le CRC).

Les paramètres de la liaison série sont les suivants :

vitesse : 9600 bauds
bit de données : 8
bit de stop : 1
bit de parité : 1

b. Calculer le délai qui s'écoule entre le début de la demande du maître et la fin de la réception de la réponse (obtention de la température) au cours de l'échange 1.

C/ ANNEXES

Annexe C1

Spécification partielle par SA-RT de la commande de l'unité de fabrication

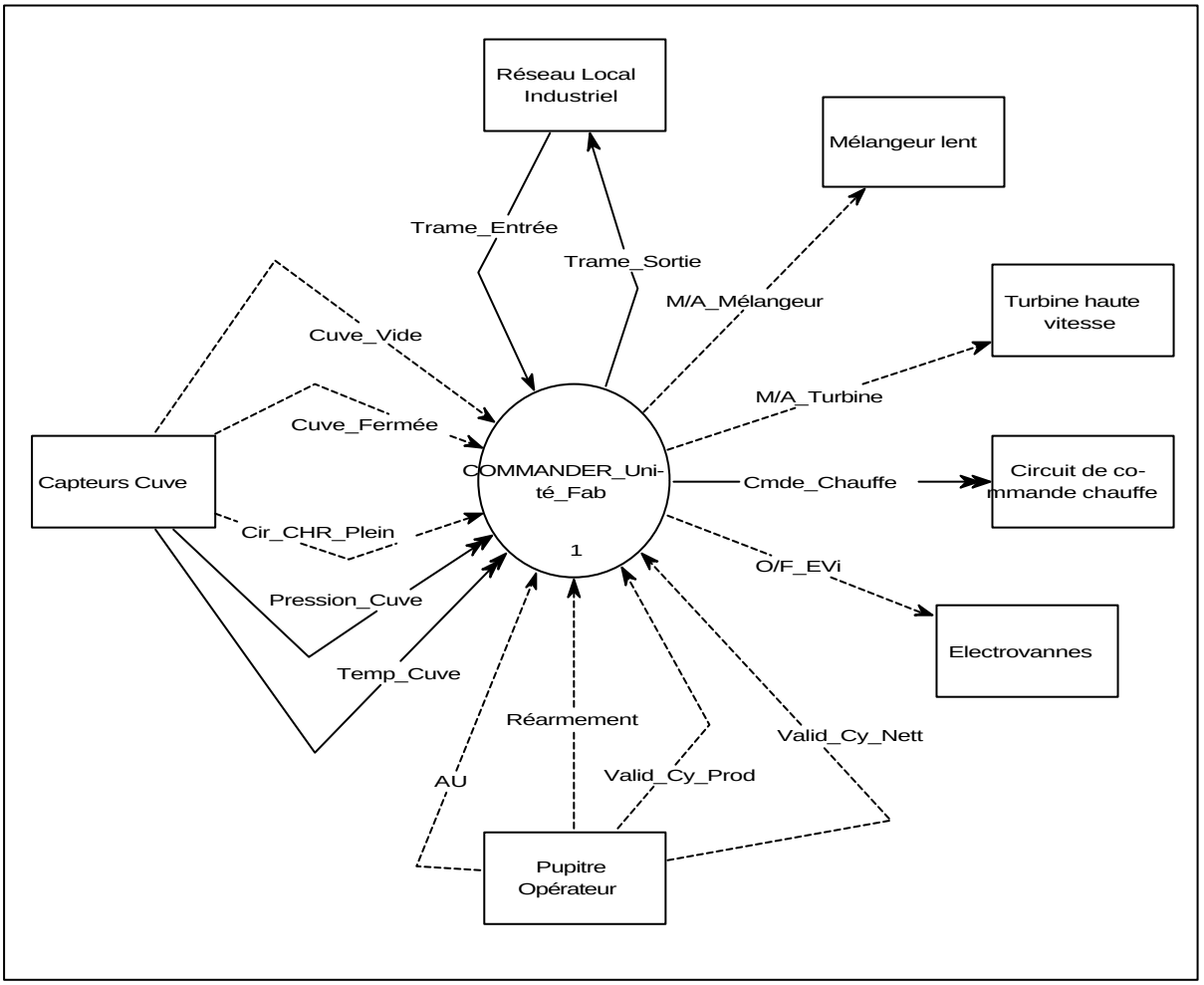


Schéma de Contexte

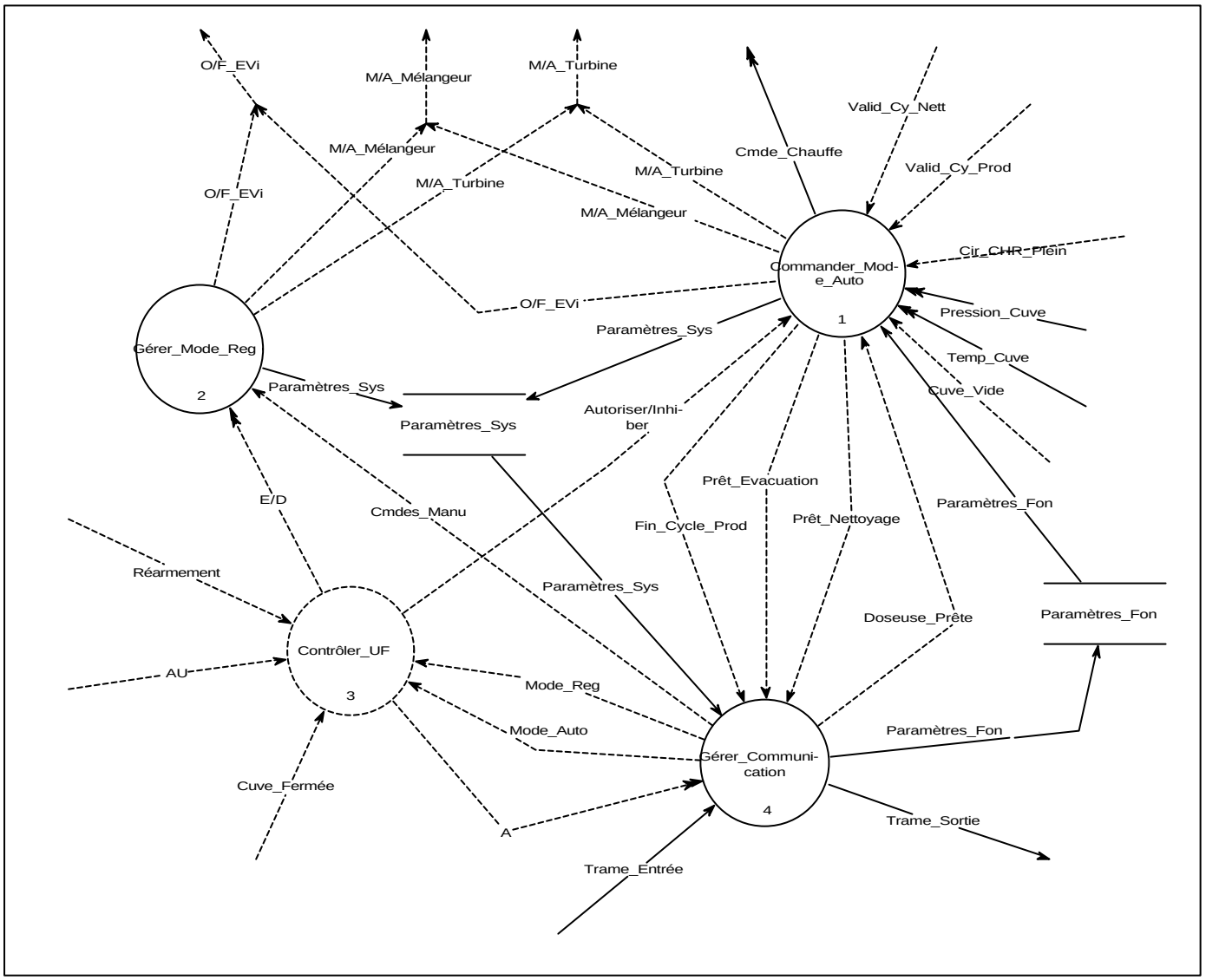


Schéma préliminaire - ST0 - "COMMANDER_Unité_Fab"

E/D : Enable/Disable

D : Disable

A : Activate

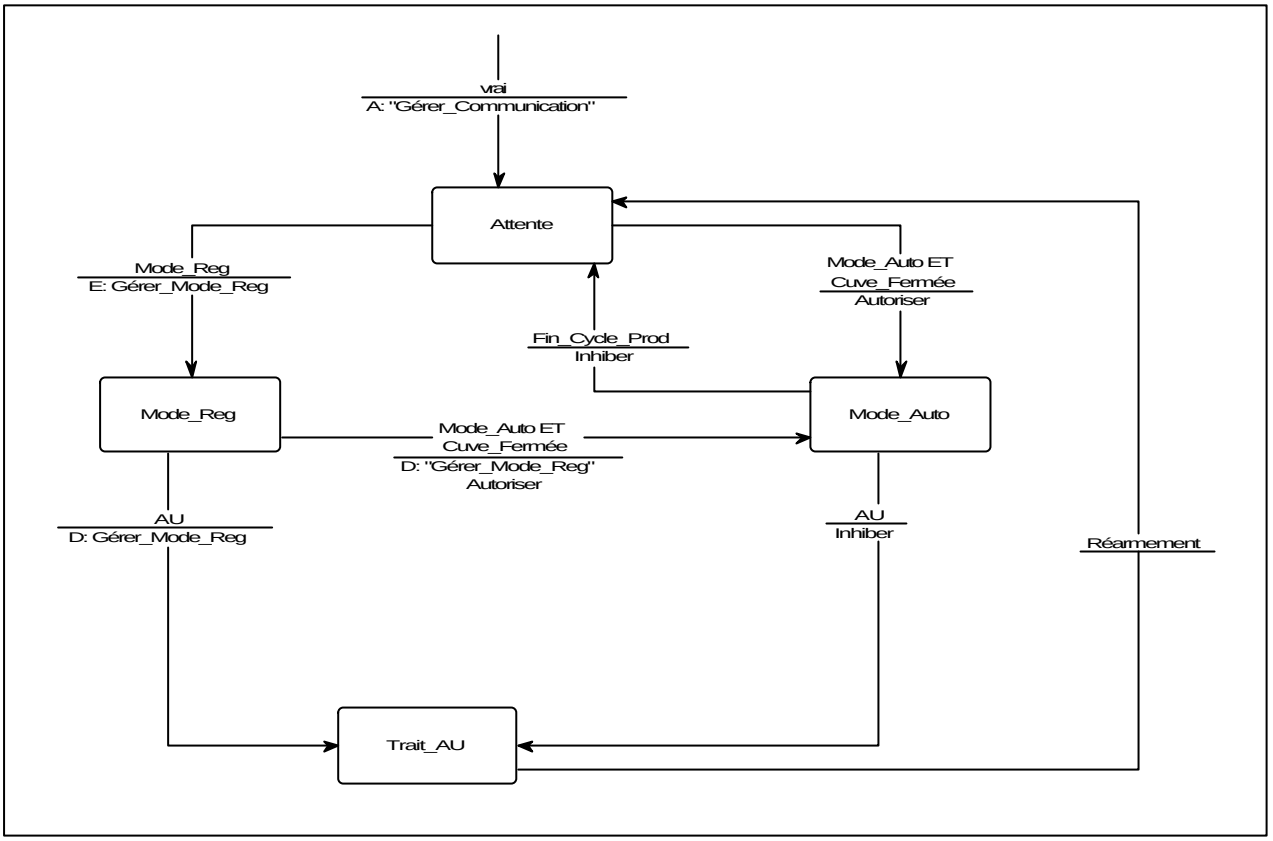


Diagramme Etats-Transitions de ST3.0 "Contrôler_UF"

E : Enable
D : Disable
A : Activate

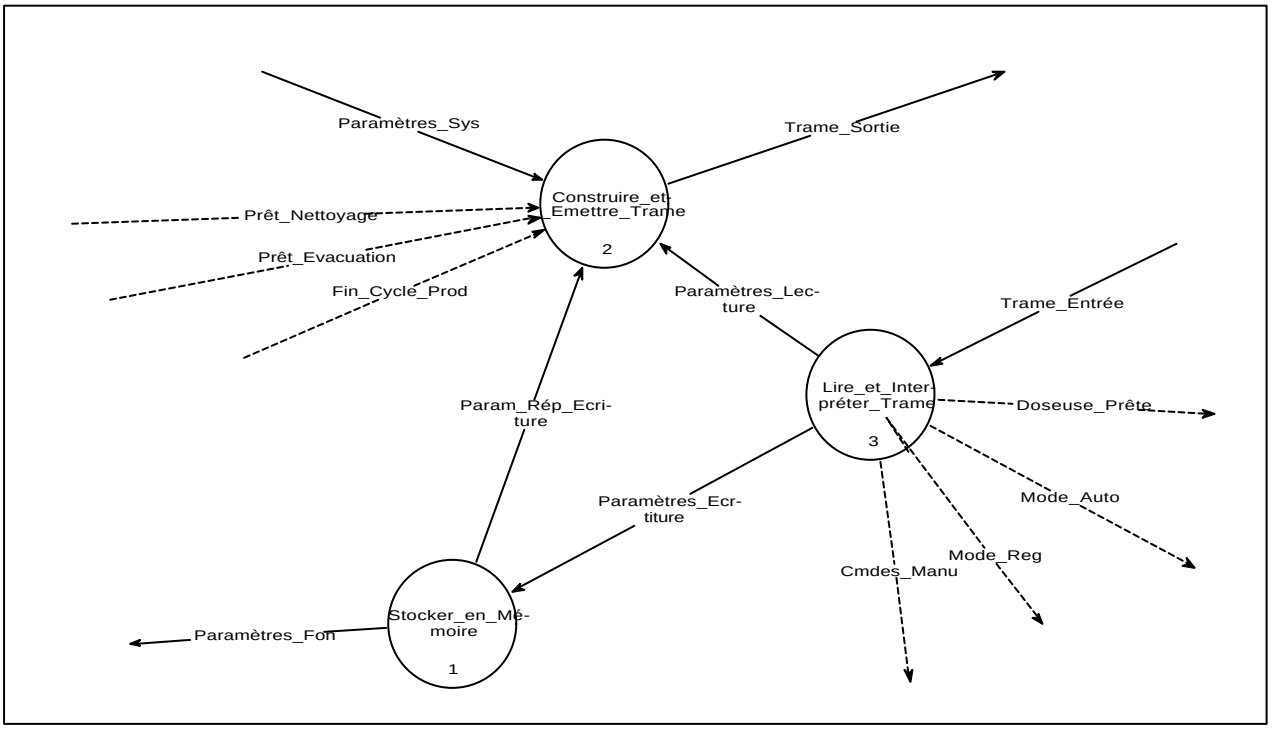


Schéma de transformation - ST4.0 - "Gérer_Communication"

Dictionnaire de données partiel

Activer_P1 /* Control flow – Activer la régulation de pression pour la consigne P1 */
Activer_P2 /* Control flow – Activer la régulation de pression pour la consigne P2 */
Activer_P3 /* Control flow – Activer la régulation de pression pour la consigne P3 */
Activer_Pi = [Activer_P1 | Activer_P2 | Activer_P3] /* Control flow */
Activer_T1 /* Control flow – Activer la régulation de température pour la consigne T1 */
Activer_T2 /* Control flow – Activer la régulation de température pour la consigne T2 */
Activer_Ti = [Activer_T1 | Activer_T2] /* Control flow */
AU /* Control flow – Arrêt d'urgence */
Autoriser /* Control flow – Autoriser le fonctionnement en mode automatique */
Autoriser/Inhiber = [Autoriser | Inhiber] /* Control flow */
Cir_CHR_Plein /* Control flow – Le circuit de chauffage/refroidissement est plein */
Cmdes_Manu /* Control flow – Commandes manuelles (non spécifiées) */
Cmde_Chauffe /* Continuous flow – Commande envoyée au système de chauffage de la cuve */
Cuve_Fermée /* Control flow */
Cuve_Vide /* Control flow */
Doseuse_Prête /* Control flow */
Durée_Emulsion /* Discrete flow */
Durée_Malaxage /* Discrete flow */
Etat_EV1 /* Discrete flow – Etat de la vanne EV1 (fermée/ouverte) */
Etat_EV2 /* Discrete flow – Etat de la vanne EV2 (fermée/ouverte) */
Etat_EV1-2 = Etat_EV1 + Etat_EV2 /* Discrete flow */
Etat_EV3 /* Discrete flow – Etat de la vanne EV3 (fermée/ouverte) */
Etat_EV4 /* Discrete flow – Etat de la vanne EV4 (fermée/ouverte) */
Etat_EV3-4 = Etat_EV3 + Etat_EV4 /* Discrete flow */
Etat_EV5 /* Discrete flow – Etat de la vanne EV5 (fermée/ouverte) */
Etat_Malaxeur /* Discrete flow – Etat du Malaxeur (Marche/Arrêt) */
Etat_Turbine /* Discrete flow – Etat de la Turbine (Marche/Arrêt) */
Fermer_EV1 /* Control flow – Commande de fermeture de la vanne EV1 */
Fermer_EV2 /* Control flow – Commande de fermeture de la vanne EV2 */
Fermer_EV3 /* Control flow – Commande de fermeture de la vanne EV3 */
Fermer_EV4 /* Control flow – Commande de fermeture de la vanne EV4 */
Fermer_EV5 /* Control flow – Commande de fermeture de la vanne EV5 */
Fin_Cycle_Prod /* Control flow – signale la fin du cycle de production */
Fin_Cy_Nett /* Control flow – signale la fin du cycle de Nettoyage */
Fin_Cy_Ref /* Control flow – signale la fin du cycle de refroidissement */
Fin_Emulsion /* Control flow – signale la fin de l'étape de brassage (émulsion) */
Fin_Malaxage /* Control flow – signale la fin de l'étape de malaxage */
Inhiber /* Control flow – Inhiber le fonctionnement en mode automatique */
Mode_Auto /* Control flow – Active le passage en mode automatique */
Mode_Reg /* Control flow – Active le passage en mode réglage */
M/A_Mélangeur /* Control flow – Active/Désactive le Mélangeur lent*/
M/A_Turbine /* Control flow – Active/Désactive la Turbine haute vistesse*/
Ouvrir_EV1 /* Control flow – Commande d'ouverture de la vanne EV1 */
Ouvrir_EV2 /* Control flow – Commande d'ouverture de la vanne EV2 */
Ouvrir_EV3 /* Control flow – Commande d'ouverture de la vanne EV3 */
Ouvrir_EV4 /* Control flow – Commande d'ouverture de la vanne EV4 */
Ouvrir_EV5 /* Control flow – Commande d'ouverture de la vanne EV5 */
O/F_EV1 = [Ouvrir_EV1 | Fermer_EV1] /* Control flow/*
O/F_EV2 = [Ouvrir_EV2 | Fermer_EV2] /* Control flow/*
O/F_EV3 = [Ouvrir_EV3 | Fermer_EV3] /* Control flow/*
O/F_EV4 = [Ouvrir_EV4 | Fermer_EV4] /* Control flow/*
O/F_EV5 = [Ouvrir_EV5 | Fermer_EV5] /* Control flow*/
O/F_EVi = O/F_EV1 + O/F_EV2 + O/F_EV3 + O/F_EV4 + O/F_EV5 /* Control flow */
P1 /* Discrete flow – Pression d'émulsion */

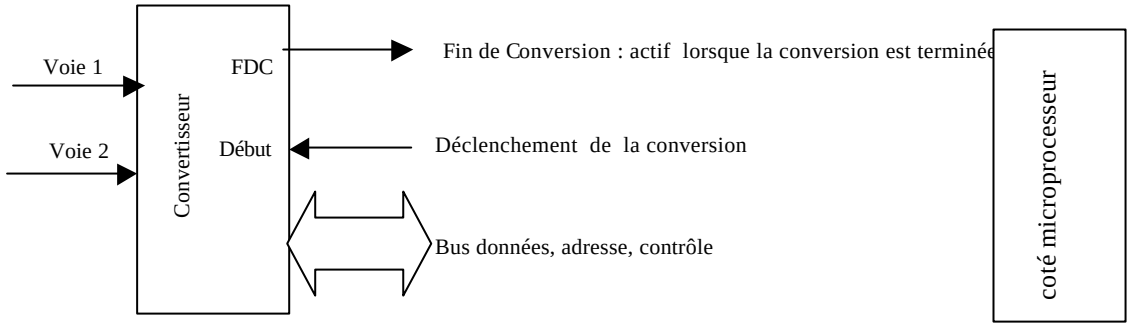
P2 /* Discrete flow – Pression de malaxage */
P3 /* Discrete flow – Pression d'évacuation de la cuve */
P1/P2/P3 = P1 + P2 + P3 /* Discrete flow */
Paramètres_Ecrtiture /* Discrete flow */
Paramètres_Rep_Ecrtiture /* Discrete flow */
Paramètres_Fon = P1/P2/P3 + T1/T2 + Durée_Emulsion + Durée_Malaxage /* Discrete flow */
Paramètres_Lecture /* Discrete flow */
Paramètres_Sys = Etat_Turbine + Etat_Malaxeur + Temp_Mesurée + Pression_Mesurée/Etat_EV5 + Etat_EV3-4 +
Etat_EV1-2 /* Discrete flow */
Pression_Cuve /* Continuous flow – Pression interne de la cuve */
Pression_Mesurée /* Discrete flow – Pression mesurée dans la cuve et stockée dans Paramètres_Sys */
Pression_Mesurée/Etat_EV5 = Pression_Mesurée + Etat_EV5 /* Discrete flow */
Prêt_Evacuation /* Control flow – L'unité de fabrication est prête à évacuer le produit */
Prêt_Nettoyage /* Control flow – La cuve est prête pour le cycle de nettoyage */
Réarmement /* Control flow – Réarmement du système après Arrêt d'urgence */
T1 /* Discrete flow – Température de brassage (émulsion) */
T2 /* Discrete flow – Température de malaxage */
T1/T2 = T1 + T2 /* Discrete flow */
Temp_Cuve /* Continuous flow – Température de la cuve */
Temp_Mesurée /* Discrete flow – Température mesurée et stockée dans Paramètres_Sys */
Trame_Entrée /* Discrete flow – Trame récupérée sur le Réseau Local Industriel */
Trame_Sortie /* Discrete flow – Trame envoyée sur le Réseau Local Industriel */
Valid_Cy_Nett /* Control flow – Fin de l'opération manuelle avant exécution du nettoyage */
Valid_Cy_Prod /* Control flow – Fin de l'opération manuelle avant exécution d'un cycle de production */

Annexe C2

Fonctionnement du convertisseur analogique-numérique

- **Description du convertisseur**

Type : convertisseur 8 bits
Entrée pleine échelle : 10 v
Temps de conversion : 20 µs
8 voies multiplexées



Le convertisseur est muni des registres internes suivants (8 bits) :
Un registre donnée : *Contient la valeur numérisée lorsque la conversion est terminée.*
Un registre de commande : bit 0 : si positionné à 1, déclenche la conversion.
bit 1..2 : numéro de la voie
Un registre d'état bit 1 : =1 si conversion terminée
bit 2 : =1 si conversion en cours

Le déclenchement de la conversion s'effectue soit en activant le signal Début, soit en positionnant le bit 0 du registre de commande.

La fin de la conversion est signalée par l'activation du signal FDC et par le positionnement du bit 1 du registre de commande.

- **Procédures fournies :**

Les procédures d'accès définies ci-après sont mises à la disposition du programmeur :

Procedure **Lancer_Conversion** (Numéro_Voie : integer) ;
Rôle fonctionnel : déclenche la conversion sur la voie Numéro_Voie
Avec Numéro_Voie = 1 pour température.
Numéro_Voie = 2 pour pression.

Function **Conversion_Terminée** return boolean ;

Rôle fonctionnel : retourne vrai lorsque la conversion en cours est terminée .

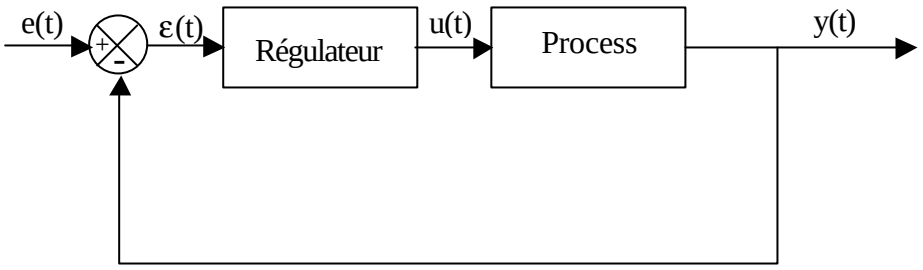
Function **Valeur_Convertie** return octet ;

Rôle fonctionnel : retourne la valeur lue dans le registre de donnée du convertisseur.

Annexe C3
Primitives de l’exécutif temps réel NTR

Annexe C4

Rappel sur la régulation numérique des systèmes continus



e(t) = consigne donnée au process

ε(t) = écart entre la consigne et la variable de sortie

u(t) = entrée effective injectée au process

y(t) = variable de sortie du process

Régulation PID

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

K_p =facteur de correction proportionnelle

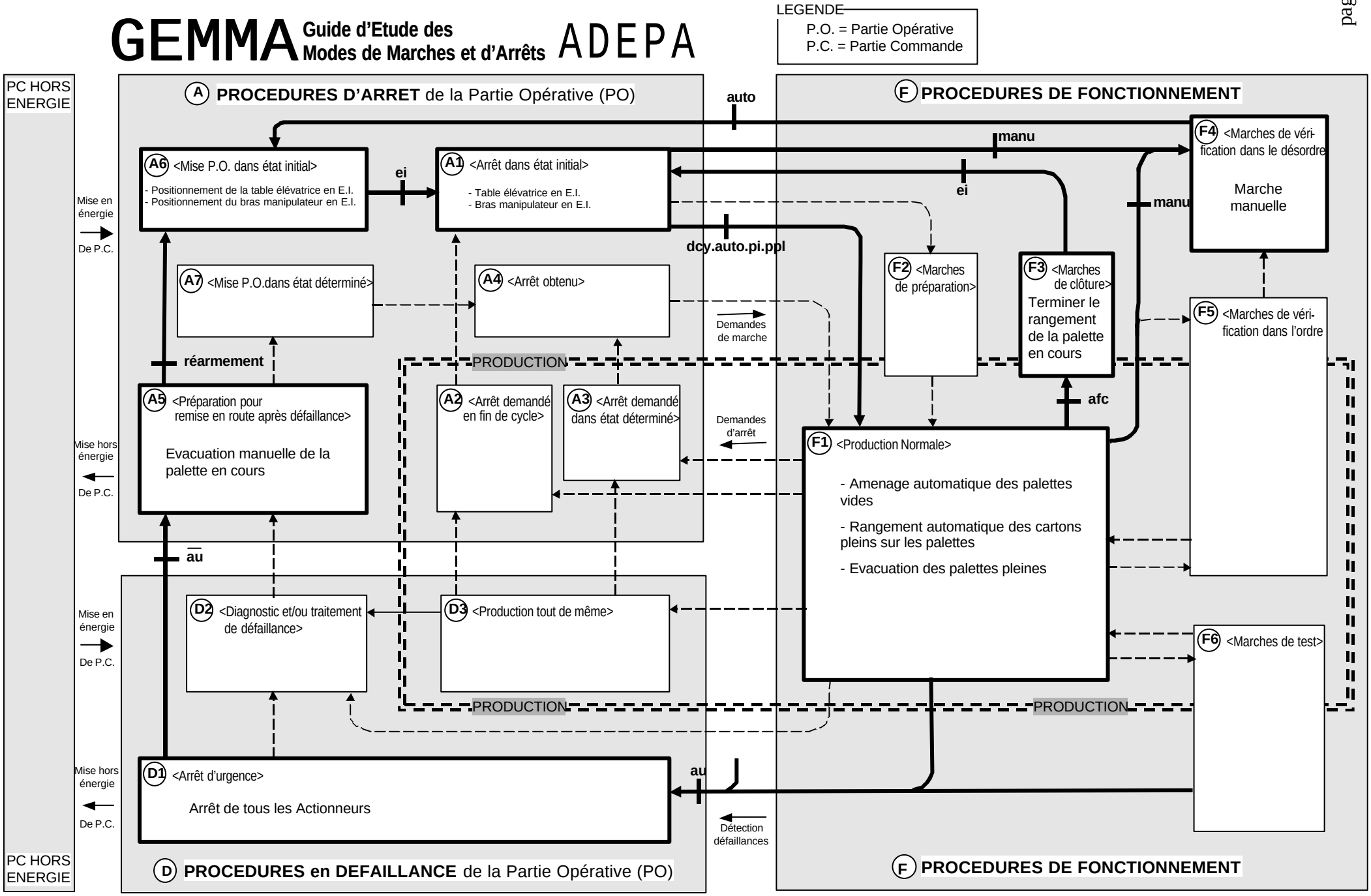
K_i =facteur de correction intégrale

K_d =facteur de correction différentielle

Représentation discrète

$$u_n = K_p e_n + K_i \sum_{j=1}^{n} e_j \Delta t + K_d \frac{e_n - e_{n-1}}{\Delta t}$$

Δt = période d'échantillonnage


GEMMA Guide d'Etude des Modes de Marches et d'Arrêts ADEPA
LEGENDE
P.O. = Partie Opérative
P.C. = Partie Commande
PC HORS ENERGIE
A PROCEDURES D'ARRET de la Partie Opérative (PO)
F PROCEDURES DE FONCTIONNEMENT
auto
manu
ei
A6 <Mise P.O. dans état initial>
- Positionnement de la table élévatrice en E.I.
- Positionnement du bras manipulateur en E.I.
A1 <Arrêt dans état initial>
- Table élévatrice en E.I.
- Bras manipulateur en E.I.
F4 <Marches de vérification dans le désordre
Marche manuelle
Mise en énergie
De P.C.
dcy.auto.pi.ppl
A7 <Mise P.O.dans état déterminé>
A4 <Arrêt obtenu>
F2 <Marches de préparation>
F3 <Marches de clôture>
Terminer le rangement de la palette en cours
F5 <Marches de vérification dans l'ordre
Demandes de marche
réarmement
PRODUCTION
A5 <Préparation pour remise en route après défaillance>
Evacuation manuelle de la palette en cours
A2 <Arrêt demandé en fin de cycle>
A3 <Arrêt demandé dans état déterminé>
Demandes d'arrêt
afc
F1 <Production Normale>
- Amenage automatique des palettes vides
- Rangement automatique des cartons pleins sur les palettes
- Evacuation des palettes pleines
Mise hors énergie
De P.C.
au
D2 <Diagnostic et/ou traitement de défaillance>
D3 <Production tout de même>
F6 <Marches de test>
PRODUCTION
PRODUCTION
Mise en énergie
De P.C.
Mise hors énergie
De P.C.
D1 <Arrêt d'urgence>
Arrêt de tous les Actionneurs
au
Détection défaillances
PC HORS ENERGIE
D PROCEDURES en DEFAILLANCE de la Partie Opérative (PO)
F PROCEDURES DE FONCTIONNEMENT

Annexe C6

Protocole MODBUS