

Gérard Boujat

Ancien professeur de génie mécanique
productique au lycée Jean Perrin
à Marseille

Ancien formateur associé à l'IUFM
d'Aix-Marseille

Patrick Anaya

Professeur de génie électrique
au lycée J.H. Fabre à Carpentras

Ancien responsable de la 2^e année
de génie électrique à l'IUFM
d'Aix-Marseille

Automatique industrielle en 20 fiches

2^e édition

DUNOD

Les auteurs remercient pour leur aimable collaboration :

M. Jean-Marc Le Bot, professeur agrégé de génie mécanique au lycée J.H. Fabre à Carpentras.

M. Thierry Branenx, professeur d'ingénierie mécanique au lycée J.H. Fabre à Carpentras.

Les sociétés :

- ASCO JOUCOMATIC
- BOSCH REXROTH
- ERM Automatismes industriels
- FERRY produits
- FESTO
- GOUDSMIT France
- LEROY SOMER
- MECALECTRO
- NORGREN
- OPTIMALOG
- PIAB
- SCHNEIDER ELECTRIC
- SIEMENS
- SMC-France

ainsi que M. Olivier Delclos, illustrateur.

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2007, 2013, 2023 pour la nouvelle présentation

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISDN 078 2 10 09475 2

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Fiche 1	Structure d'un système automatisé de production	4
Fiche 2	L'information et ses supports	14
Fiche 3	Les systèmes de numération et codes	18
Fiche 4	La communication homme-machine	27
Fiche 5	Les réseaux appliqués aux automatismes industriels	29
Fiche 6	Acquérir les informations par les capteurs	40
Fiche 7	La logique programmée des automates programmables industriels	50
Fiche 8	Les familles de langage de programmation	58
Fiche 9	Les règles du GRAFCET	66
Fiche 10	Le GRAFCET de coordination des tâches	80
Fiche 11	Le GEMMA et le GRAFCET des Modes de Marches et d'Arrêts	89
Fiche 12	Le câblage d'un automate programmable industriel et sa mise en œuvre	97
Fiche 13	Gestion de l'énergie électrique dans les process	101
Fiche 14	La distribution des fluides pneumatiques et hydrauliques	108
Fiche 15	Les moteurs électriques	114
Fiche 16	Les vérins et moteurs pneumatiques et hydrauliques	123
Fiche 17	Les effecteurs et leurs choix	131
Fiche 18	Sécurité et habilitations électriques	139
Fiche 19	Sûreté des outils de production	147
Fiche 20	L'aide au diagnostic par programme	155

Structure d'un système automatisé de production

I Principe

Un système est un ensemble d'éléments permettant de répondre à un besoin, qui est la nécessité ou le désir éprouvé par un utilisateur.

- **Différents types de système**

Systèmes élémentaires où toute l'énergie vient de l'Homme : l'énergie de commande (pour son cerveau) et l'énergie musculaire (pour ses muscles). L'Homme et l'outil constituent le système.

Systèmes mécanisés où toute l'énergie vient encore de l'être humain qui est inclus au système, mais qui est aidé par un mécanisme.

Systèmes automatisés où l'énergie de puissance vient de l'extérieur du système ou est embarquée. L'opérateur fait partie ou non du système, suivant le degré d'automatisation.

Systèmes automatiques où le système est autonome grâce à une partie commande (un « cerveau » logique) et où toute l'énergie vient de l'extérieur ou est embarquée. L'Homme ne fait plus partie du système, il lui est extérieur et a un rôle de superviseur.

- **Objectifs de l'automatisation**

L'automatisation des systèmes a permis à l'Homme de supprimer les travaux pénibles, dangereux, répétitifs, voire impossibles à réaliser par lui (environnement hostile : radioactif, gazeux, chimique, pression ou dépression ambiantes, températures excessives, atmosphère explosive...). Elle permet en outre de diminuer le coût des produits en augmentant la productivité, par une diminution des temps de fabrication, de contrôle, d'intervention de maintenance, de gérer les stocks en temps réel et de faire de la maintenance à distance. L'automatisation a permis également d'augmenter la flexibilité de production, la sécurité, la qualité et l'hygiène.

Il reste à l'Homme les tâches de surveillance, de prise de décision par rapport à la sécurité, au process, au produit, à la maintenance et les ordres et consignes à donner à la partie commande du système automatisé par l'intermédiaire d'un pupitre, d'un terminal, d'une autre partie commande...

II Méthode

Différents outils, langages sont utilisés pour représenter le fonctionnement ou la structure d'un système automatisé : SADT, SysML...

• Représentation fonctionnelle

Le modèle SysML (Systems Modeling Language : Langage de Modélisation de Systèmes)

Ce langage est développé pour l'ingénierie système. Spécification, analyse, conception, vérification et validation de systèmes complexes sont rendus possibles par SysML.

Les objectifs de SysML sont les suivants :

- un modèle (fichier numérique) regroupant toutes les informations du système avec l'utilisation d'un langage de description commun à toutes les parties prenantes ;
- un modèle commun pour les différents acteurs de corps de métiers amenés à collaborer lors de la conception d'un projet ;
- une gestion et une évolutivité des systèmes et de projets complexes facilitées ;
- la création, de bibliothèques de systèmes et sous-systèmes standardisés, favorisée permettant un gain de productivité.

Remarque : SysML est un langage visuel de modélisation et non pas une méthode ou un outil. L'élaboration de tous les diagrammes (introduits ci-après) n'est pas obligatoire et se réalise dans un ordre quelconque.

Les objectifs des différents diagrammes (figure 1.1) sont les suivants :

- *diagramme d'exigence* : recenser les exigences (techniques, normatives, économiques, physiques, commerciales ou autres), c'est-à-dire les capacités ou les contraintes qui doivent ou qui devraient être satisfaites par le système. Formuler, hiérarchiser, structurer les exigences du cahier des charges ;
- *diagramme de cas d'utilisation* : représenter les fonctionnalités, les services du système. Montrer les interactions avec l'environnement du système ;
- *diagramme de séquence* : modéliser la chronologie des interactions entre les éléments du système ou entre le système et son environnement (utilisateurs...).

Un diagramme de séquence décrit un cas d'utilisation ; il n'est pas obligatoire de décrire chaque cas d'utilisation ;

- *diagramme de définition de blocs* : représenter hiérarchiquement les éléments du système. Les propriétés et les relations entre chaque bloc sont ainsi modélisées ;
- *diagramme de bloc interne* : décrire la structure interne du système ou d'un bloc. Mettre en place les connexions entre les différentes parties et représenter les flux, les informations échangées entre elles ;
- *diagramme d'états* : représenter les différents états du système en fonction de différents événements. Un état est la vision instantanée d'une partie du système ou du système à un instant donné de sa vie. Un événement est un aléa qui fait varier l'état précédent ;
- *diagramme d'activité* : modéliser les flux d'informations et de contrôle entre chaque action du système ;
- *diagramme paramétrique* : rattaché à un diagramme de bloc interne, il permet, à l'aide de contraintes (masse, performance...), de tester les performances physiques et quantitatives du système. Rattaché à un logiciel d'analyse système, il permet de simuler son comportement ;
- *diagramme de packages* : montrer l'organisation du modèle numérique. Pour faire une analogie avec l'informatique, il représente un dossier qui peut contenir des sous-dossiers, eux-mêmes constitués de fichiers. Ce n'est pas un diagramme de description du système mais un diagramme de description du contenu (classification) du modèle.

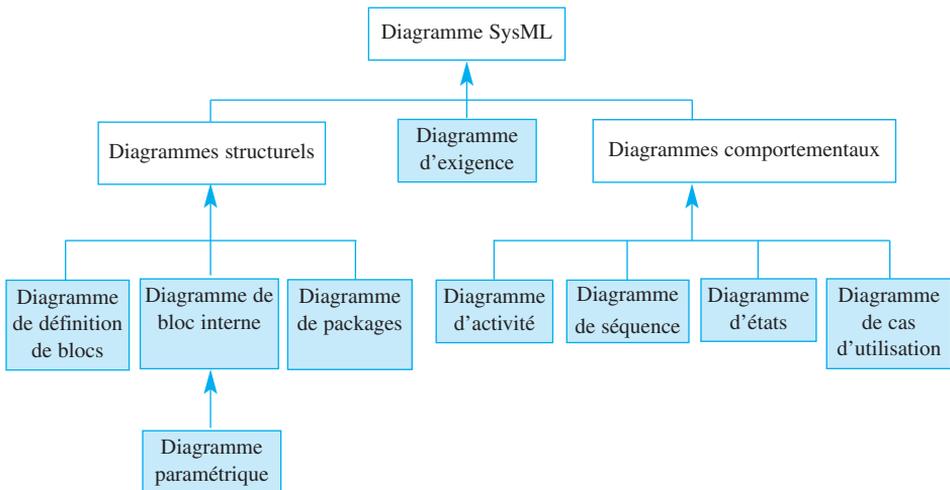


Figure 1.1 Diagramme SysML.

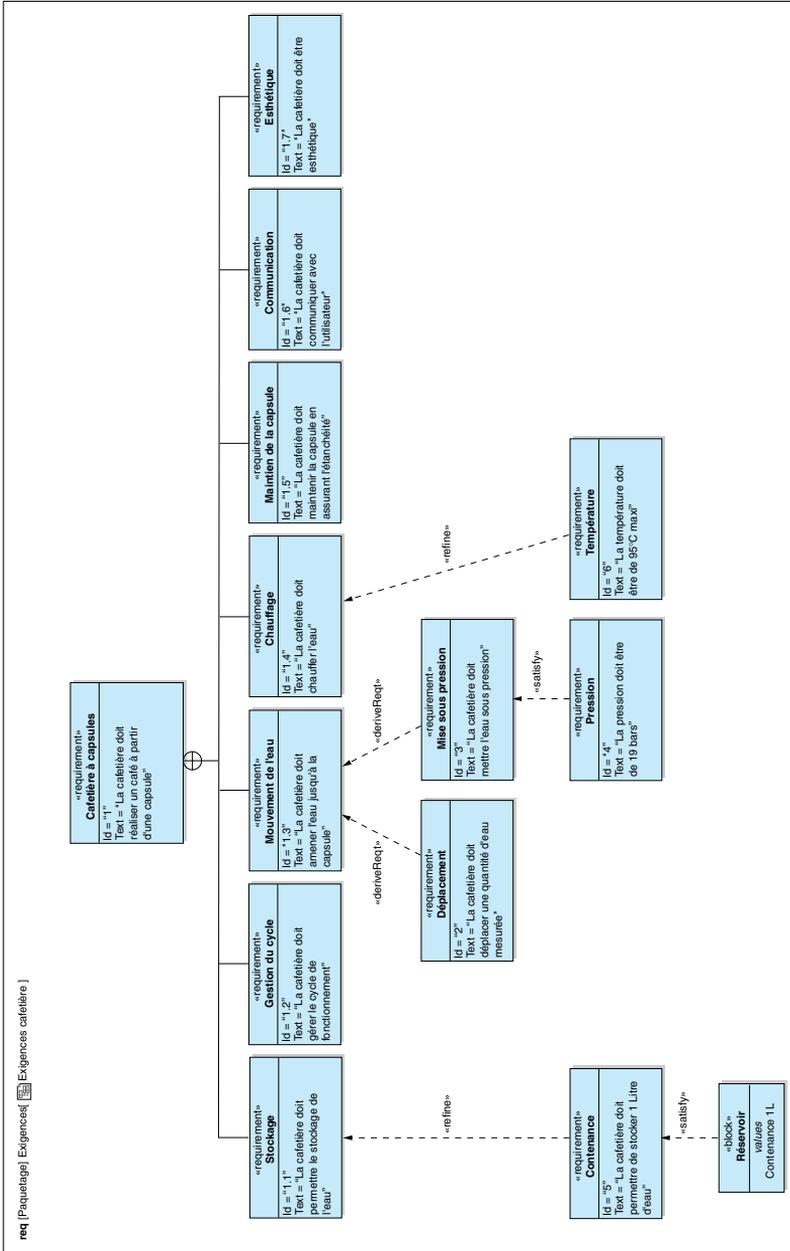


Figure 1.2 Exemple de diagramme d'exigences : cafetière à capsules.

Le modèle FAST (Function Analysis System Technic)

Cette méthode permet de représenter les différentes fonctions réalisées par le système dans le but d'une meilleure compréhension ou d'une remise en cause du produit. Elle consiste à représenter graphiquement l'enchaînement des différentes fonctions pour en arriver aux fonctions techniques.

On construira le graphique en partant de la fonction la plus importante et en posant les questions : Dans quel but ? Quand ? Comment ? (figures 1.3 et 1.4).

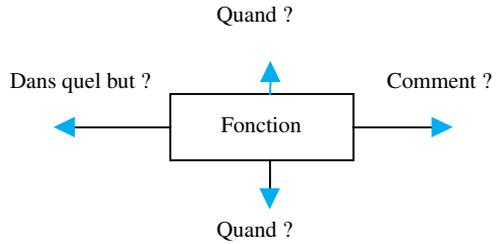


Figure 1.3

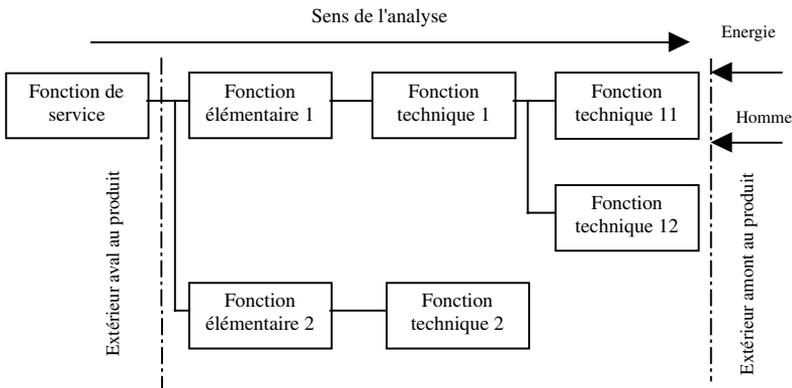


Figure 1.4 Diagramme FAST.

Une fonction de service est une fonction attendue d'un produit pour répondre à un besoin.

Une fonction élémentaire est engendrée par la fonction de service, elle exprime un choix de conception.

Une fonction technique est la solution matérielle pour assurer la fonction élémentaire.

- **Représentation structurelle**

Elle peut se faire à l'aide de schémas blocs, schémas électriques, blocs fonctions, dessins... certaines de ces représentations sont normalisées.

Représentation structurelle par schéma blocs

La chaîne d'action (ou d'énergie) décrit le lien des composants de la partie opérative depuis l'ordre émanant de la partie commande et la source d'énergie, jusqu'à l'action sur la matière d'œuvre. Elle indique également les différentes fonctions technologiques nécessaires : alimenter et protéger, distribuer, convertir et agir sur la matière d'œuvre.

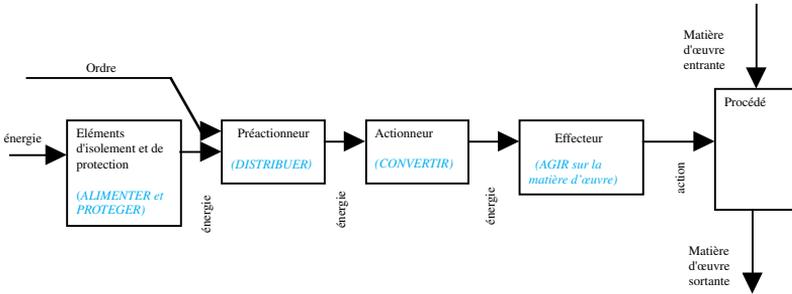


Figure 1.5 Chaîne d'action.

La chaîne d'information décrit le lien des composants de la partie commande depuis les informations (du pupitre, de la partie opérative, de l'environnement, d'autres systèmes...), jusqu'aux ordres envoyés vers la partie opérative et aux comptes rendus (informations de sortie) vers le pupitre ou d'autres systèmes. Elle indique également les différentes fonctions technologiques nécessaires : dialoguer, acquérir, adapter, traiter et transmettre.

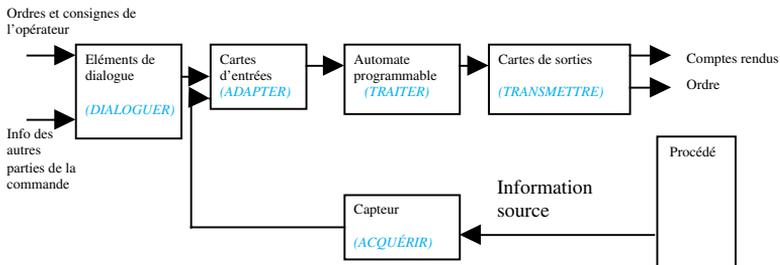


Figure 1.6 Chaîne d'information.

Le schéma bloc est une des méthodes permettant de modéliser la structure générale d'un système automatisé. Sept blocs principaux ou familles constituent un système automatisé :

- les éléments de dialogue ;
- la partie commande ;

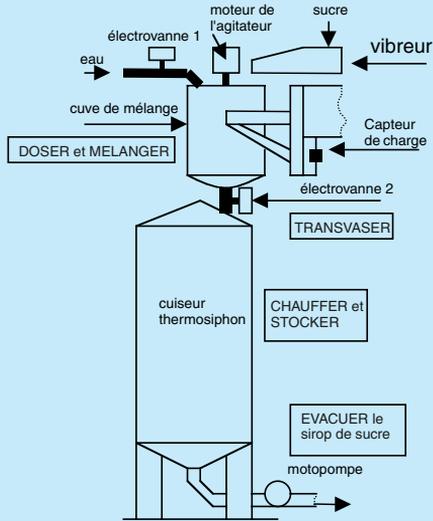
- les éléments d'isolement et de protection ;
 - les préactionneurs ;
 - les actionneurs et leurs éléments de transmission ;
 - les effecteurs ;
 - les capteurs.
- (voir détail et exemples tableau 1.1)

Tableau 1.1 Fonctions des familles et exemples de composants.

Famille	Fonction	Exemples (liste non exhaustive)
Éléments de dialogue	DIALOGUER avec la partie commande, lui transmettre des ordres de marches et d'arrêts, des consignes, des paramètres... et recevoir des comptes rendus.	<ul style="list-style-type: none"> - pupitre (boutons, voyants, afficheurs, gyrophare, balise...) - clavier, écran - terminal de dialogue - modem
Partie commande	GÉRER le système, c'est-à-dire : <ul style="list-style-type: none"> - ADAPTER les informations - TRAITER les informations - TRANSMETTRE les ordres - COMMUNIQUER avec l'opérateur ou une autre partie commande 	<ul style="list-style-type: none"> - automate programmable industriel (API) - ordinateur - cartes électroniques - relais bistables - programmeurs cycliques
Éléments d'isolement et de protection	ALIMENTER ou ISOLER la machine en énergie, et PROTÉGER l'Homme et les composants du système	<ul style="list-style-type: none"> - vanne d'isolement - sectionneur - disjoncteur - démarreur progressif
Préactionneurs	DISTRIBUER l'énergie de puissance	<ul style="list-style-type: none"> - contacteurs (pour la commande d'un moteur électrique) - distributeur (pour la commande d'un vérin) - relais
Actionneurs	CONVERTIR l'énergie	<ul style="list-style-type: none"> - moteur électrique - vérin pneumatique - vérin hydraulique - vérin électrique - résistance
Effecteurs	AGIR sur la matière d'œuvre	<ul style="list-style-type: none"> - ventouses de bras de robot - tapis de convoyeur - cuve de malaxage - outil d'usinage
Capteurs	ACQUÉRIR et TRANSMETTRE les informations à la partie commande	<ul style="list-style-type: none"> - détecteurs : de présence, de position, de luminosité... - capteur de vitesse, d'accélération - thermocouple (température) - pressostat (pression) - vacuostat (dépression ou vide) - débitmètre (débit) - anémomètre (vitesse du vent)

Unité de production de sirop de sucre

Soit un système automatisé, figure 1.7, qui fabrique du sirop de sucre, dans une entreprise agroalimentaire.



Remarque : tous les composants ne sont pas représentés sur cette figure.

Figure 1.7

Principe de fonctionnement : une **électrovanne 1** permet l'ouverture du circuit d'arrivée d'eau dans la cuve de mélange en inox. La dose d'eau étant faite, un **vibreur** saupoudre du sucre dans cette cuve, et un **agitateur**, commandé par un **moteur électrique**, permet un mélange homogène. Un **capteur de charge** informe du poids de l'eau, puis du mélange à un **automate programmable** qui gère le système. L'opérateur envoie des ordres, des consignes et communique avec l'automate, grâce à un **terminal de dialogue**. Après quelque temps de mélange, la dose de sirop de sucre est transvasée dans la cuve du cuiseur thermosiphon, par ouverture de l'**électrovanne 2**. Plusieurs doses sont nécessaires pour remplir la cuve du cuiseur qui possède une **sonde de niveau bas** et une **sonde de niveau haut**. Une **électrovanne 3**, non représentée, permet l'ouverture de la vapeur de chauffe du mélange dans le cuiseur. Une **sonde de température** permet à la partie commande de contrôler la cuisson en agissant sur l'électrovanne 3. À la fin de la cuisson, le sirop de sucre est évacué par une **motopompe** commandée par un **contacteur**, vers une ligne de fabrication.

1. Répartissez dans le tableau 1.2, les composants cités en gras dans le texte, par rapport à leur fonction technique et indiquez à quelle famille ils appartiennent.

Tableau 1.2

Fonction	Désignation	Famille
DIALOGUER		
GÉRER		
DOSER et MÉLANGER		
TRANSVASER		
STOCKER et CHAUFFER		
ÉVACUER		

2. Réalisez le diagramme FAST de ce système automatisé de fabrication de sirop de sucre, sans tenir compte de la partie commande.

Solution

1.

Fonction	Désignation	Famille
DIALOGUER	Terminal de dialogue	Éléments de dialogue
GÉRER	Automate programmable	Partie commande
DOSER et MÉLANGER	Électrovanne 1	Actionneur
	Vibreux	Actionneur
	Agitateur	Effecteur
	Moteur électrique	Actionneur
	Capteur de charge	Capteur
TRANSVASER	Électrovanne 2	Actionneur
STOCKER et CHAUFFER	Sonde de niveau bas	Capteur
	Sonde de niveau haut	Capteur
	Électrovanne 3	Actionneur
	Sonde de température	Capteur
ÉVACUER	motopompe	Actionneur
	contacteur	Préactionneur

2.

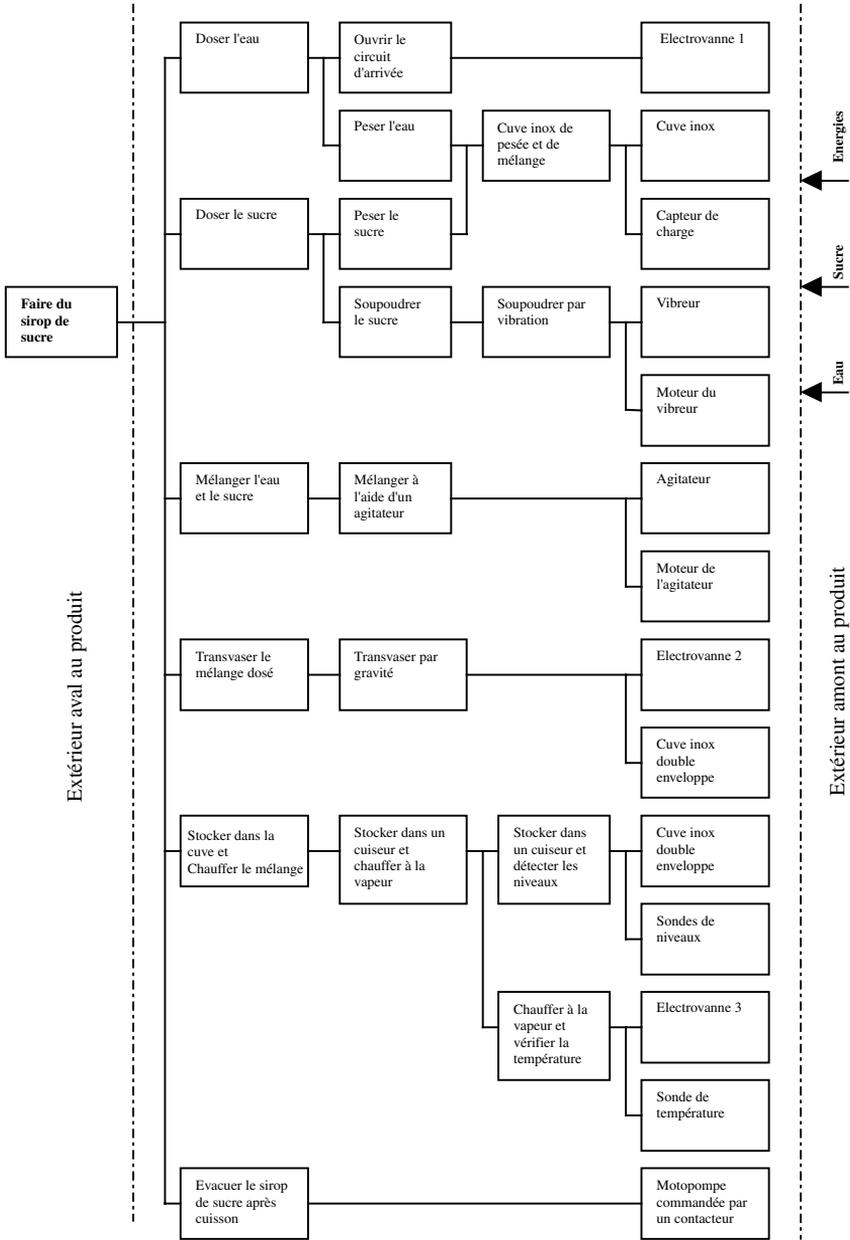


Figure 1.8