



P r o d u c t i o n i n d u s t r i e l l e
a u t o m a t i s é e e t i n f o r m a t i s é e

Chapitre 7

Systèmes automatisés de fabrication

Ce chapitre 7 ne s'intéresse plus à l'ensemble d'une production industrielle, mais seulement aux systèmes de fabrication automatisés en action dans les ateliers de fabrication. En d'autres termes, ce 7^{ème} chapitre s'intéresse non plus au système global de production industrielle, mais à son ou ses sous-ensembles que sont les systèmes de fabrication automatisée.

Ce faisant, il commence par reprendre les trois concepts d'action, d'information et de décision sur lesquels repose tout le système de production industrielle et les applique au seul système de fabrication automatisée, sous-ensemble du premier. Tout système de fabrication automatisée est en effet au carrefour des trois mêmes composantes physique, informationnelle et décisionnelle sur lesquelles repose tout système de production industrielle.

Une fois fait ce calage de concepts, le chapitre se poursuit par l'énoncé d'une définition des systèmes automatisés et l'étude des deux parties distinctes dont ils sont tous constitués : une partie opérative qui agit et une partie commande qui pilote ; la partie opérative relevant du seul système physique d'une production industrielle et la partie commande relevant à la fois du système informationnel et du système décisionnel de cette même production industrielle.

Une fois énoncées ces définitions, le chapitre se consacre jusqu'à son terme aux deux processus de conception : celui d'abord de la partie commande, puis celui de la partie opérative. Il en décline très progressivement les étapes que s'imposent les concepteurs et présente les outils dont disposent : quatre modes de représentation pour élaborer la partie commande et différentes arborescences pour choisir les actionneurs et les capteurs de la partie opérative.

Systèmes automatisés de fabrication

Table des matières du chapitre 7

1. Action – Information - Décision.....	4
1.1. Mécanisation et automatisation d'une opération de fabrication	4
1.2. De l'élément à l'ensemble : un modèle unique.....	5
2. Organisation des systèmes automatisés	6
2.1. Organisation de la partie opérative (PO)	6
2.2. Organisation de la partie commande (PC).....	8
2.3. Organisation des interfaces	10
3. Conception de la partie commande.....	12
3.1. Représentation fonctionnelle (schémas-blocs)	13
3.2. Représentation logique (GRAFCET).....	15
3.3. Représentation temporelle (chronogramme).....	23
3.4. Représentation technologique (symboles normalisés).....	27
4. Conception de la partie opérative	28
4.1. Principes de conception	28
4.2. Choix d'un actionneur	30
4.3. Choix d'un capteur.....	32
Conclusion	34

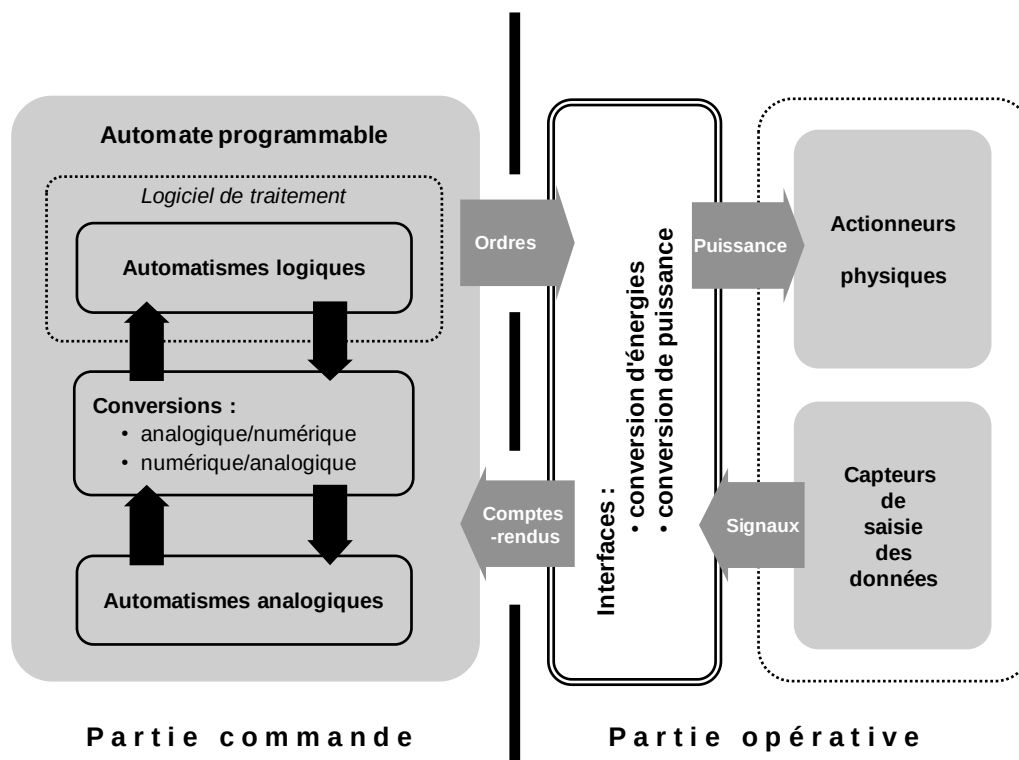
1. Action – Information - Décision

A partir de consignes qui lui sont données et d'un programme dont il est doté, tout système de fabrication automatisé agit, informe et décide. Il agit parce qu'il transforme de la matière ; il informe parce qu'il rend compte à sa partie commande et à tout opérateur de ce qu'il fait ; il décide parce qu'il génère les ordres qu'il adresse à sa partie opérative pour que soient exécutés les gestes physiques de la fabrication.

Intégrés l'un à l'autre au sein d'une même architecture, ces deux sous-ensembles que sont sa partie opérative et sa partie commande constituent un modèle unique qui rend compte du fonctionnement de tout système de fabrication automatisée.

1.1. Mécanisation et automatisation d'une opération de fabrication

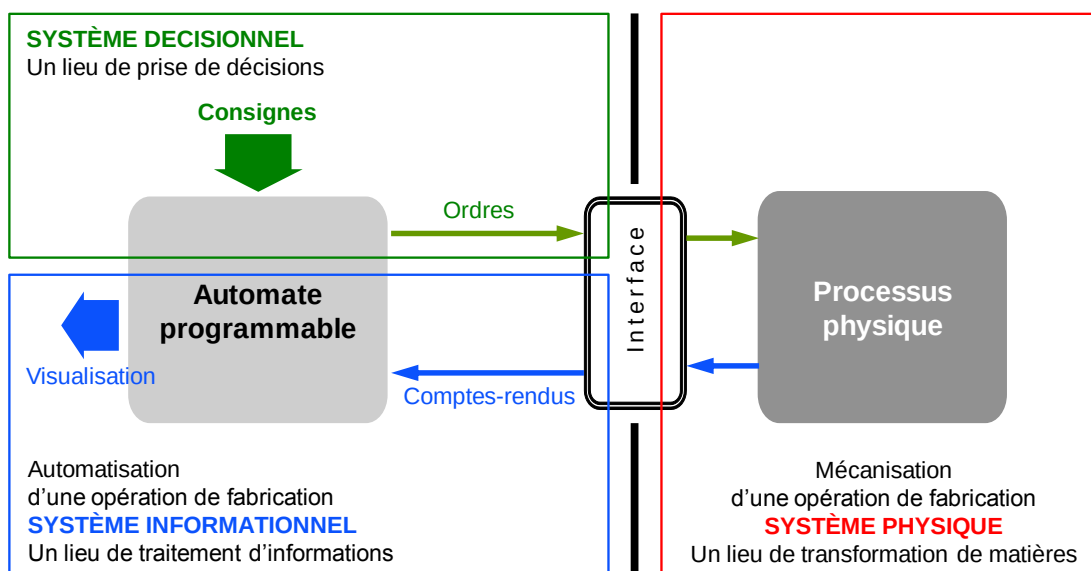
Tout système de fabrication automatisée comporte en effet une partie opérative et une partie commande. La partie opérative exécute les gestes physiques nécessaires à la réalisation d'une tâche : c'est **la mécanisation de l'opération de fabrication**. La partie commande, quant à elle, génère les ordres nécessaires à la chronologie et à l'enchaînement de ces gestes ; des ordres dont elle contrôle la bonne exécution à l'aide des capteurs de saisie de données de la partie opérative : c'est **l'automatisation de l'opération de fabrication**.



Constituée d'actionneurs physiques (moteurs, vérins, organes mécaniques, etc.), la partie opérative assure donc, une tâche mécanisée. Comportant également des capteurs de saisie de données (détecteurs de proximité ou de présence, capteurs de position ou de pression, compteurs, etc.), elle renseigne la partie commande autant sur les conditions d'exécution que sur le résultat de l'accomplissement de la tâche. La partie commande, pour sa part, recueille les informations (comptes rendus) que lui fournissent les capteurs de la partie opérative ; elle est dépositaire d'un programme décrivant l'enchaînement des opérations à faire exécuter automatiquement, c'est-à-dire sans l'intervention d'un opérateur humain.

1.2. De l'élément à l'ensemble : un modèle unique

Dans un atelier de fabrication, un poste de travail automatisé participe, à lui seul, au trois sous-systèmes physique, informationnel et décisionnel de tout système de production. Pour s'en rendre compte, il suffit de reprendre le schéma précédent et de le transformer pour aboutir au schéma ci-dessous.



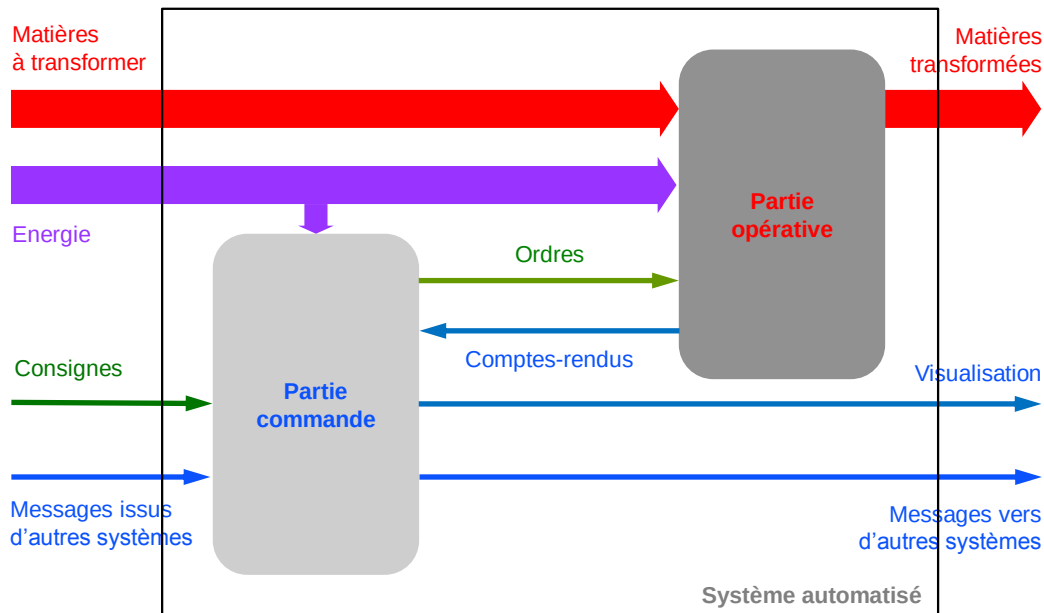
Si la partie opérative qui transforme de la matière, relève bien du système physique, la partie commande qui traite de l'information relève bien, quant à elle, du système informationnel. Plus précisément :

- le **processus physique** où, par transformation de matières, sont réalisées les opérations de fabrication, appartient au **système physique** ;
- l'**automate programmable** où, par traitement d'informations, est exécuté un programme, où sont interprétés des comptes-rendus et d'où sont émises les informations visualisées par l'opérateur, appartient au **système informationnel** ;
- les **entrées et sorties de l'automate** où sont introduites des consignes et d'où sont émis des ordres destinés au processus physique, appartiennent au **système décisionnel**.

Par conséquent, ce modèle à trois dimensions physique, informationnelle et décisionnelle qui s'applique à l'ensemble du système de production, s'applique aussi aux éléments qui le constituent : les systèmes de fabrication automatisée ou plus concrètement encore les postes de travail automatisés.

2. Organisation des systèmes automatisés

Tout système de fabrication automatisé repose sur un unique modèle d'architecture fait, répétons-le, d'une partie opérative et d'une partie commande. Pour se préparer à concevoir chacune de ces deux parties, il faut d'abord en analyser avec précision l'organisation.

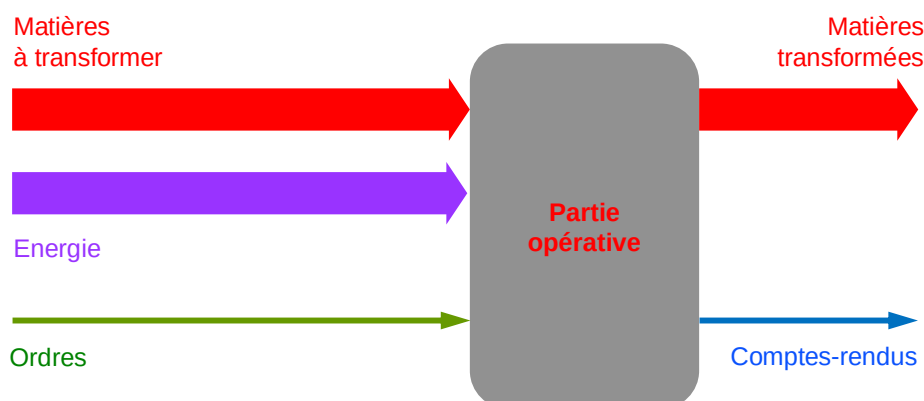


2.1. Organisation de la partie opérative (PO)

La **partie opérative** d'un système automatisé, c'est celle qui assure les transformations de matières permettant d'élaborer la valeur ajoutée recherchée par la fabrication du produit.

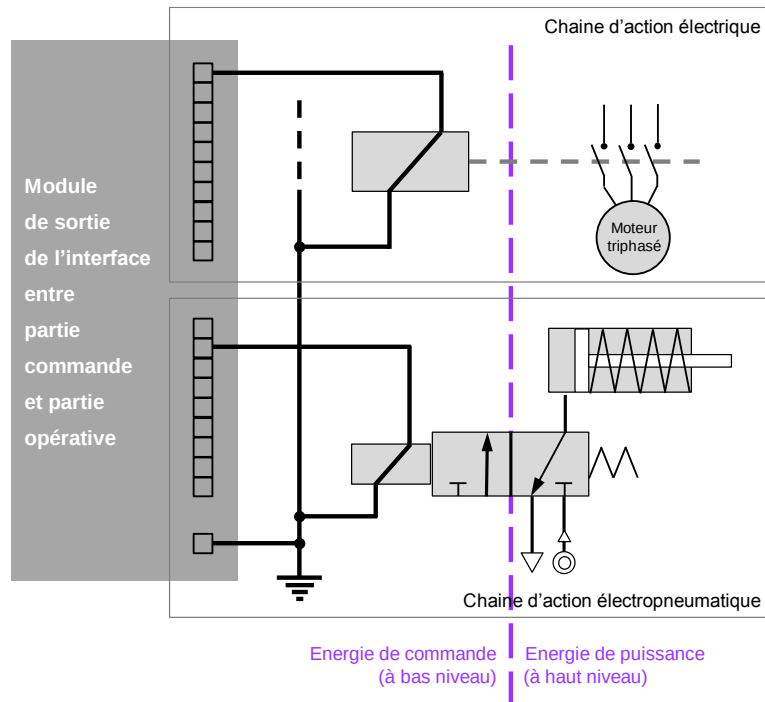
Pour ce faire, la partie opérative est le siège de conversions d'énergies effectuées par :

- des **actionneurs physiques** qui vont transformer, le plus souvent en énergie mécanique, de l'énergie électrique, pneumatique ou hydraulique ;
- des **capteurs de saisie de données** qui vont transformer, le plus souvent en énergie électrique, de l'énergie mécanique, thermique ou lumineuse.



Les actionneurs physiques

La partie opérative d'un système automatisé transforme la matière à l'aide d'effecteurs le plus souvent mécaniques (pinces de manipulation ou de positionnement, outils d'usinage ou de découpe, moule d'injection, etc.). Ces effecteurs très souvent mécaniques sont mus par des actionneurs (moteurs, vérins, etc.) électriques, pneumatiques ou hydrauliques qui, pour agir, utilisent une énergie motrice.



En amont des actionneurs, on trouvera toujours des pré-actionneurs (relai de commande d'un moteur électrique, par exemple) qui, localisés dans l'interface partie opérative - partie commande (étage de puissance), amplifient les signaux (ordres) de la partie commande pour les rendre exécutables par les actionneurs. En d'autres termes, ces pré-actionneurs, à partir d'une commande à bas niveau d'énergie, distribuent et modulent le flux d'énergie nécessaire aux actionneurs ; les énergies d'entrée et de sortie étant souvent de nature différente.

Les capteurs de saisie de données

Ils sont de deux types : les capteurs analogiques et les capteurs numériques.

Les **capteurs analogiques** délivrent un signal image du phénomène physique à surveiller sous la forme d'une tension ou d'un courant variant de manière continue. Les tensions courantes sur les capteurs industriels sont : ± 50 mV, ± 1 V, ± 5 V et ± 10 V. Les intensités courantes sur les capteurs industriels sont : 0-10 mA et 5-20 mA.

De tels signaux nécessitent un traitement particulier pour être utilisables par la partie commande des Automates Programmables Industriels (API). Ce traitement consiste généralement à convertir le signal

électrique analogique en signal numérique grâce à des convertisseurs analogiques-numériques (CAN). Les API qui comportent une entrée analogique, assurent eux-mêmes cette fonction de conversion ; ils disposent pour cela, en interne, d'une interface particulière.

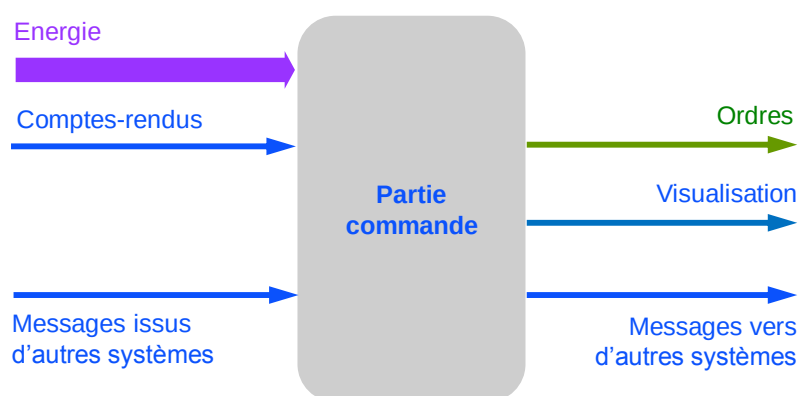
Les **capteurs numériques** délivrent un signal image du phénomène physique à surveiller sous la forme soit d'un train d'impulsions dont le nombre ou la fréquence est à l'image de cette grandeur ; on parle alors de capteurs incrémentaux fonctionnant en binaire.

2.2. Organisation de la partie commande (PC)

La **partie commande** est la partie d'un système automatisé qui est capable de reproduire un modèle de fonctionnement à l'image d'un savoir-faire humain (coordination d'actions et/ou de décisions). Pour obtenir les gestes physiques voulus par la fabrication, elle commande la partie opérative :

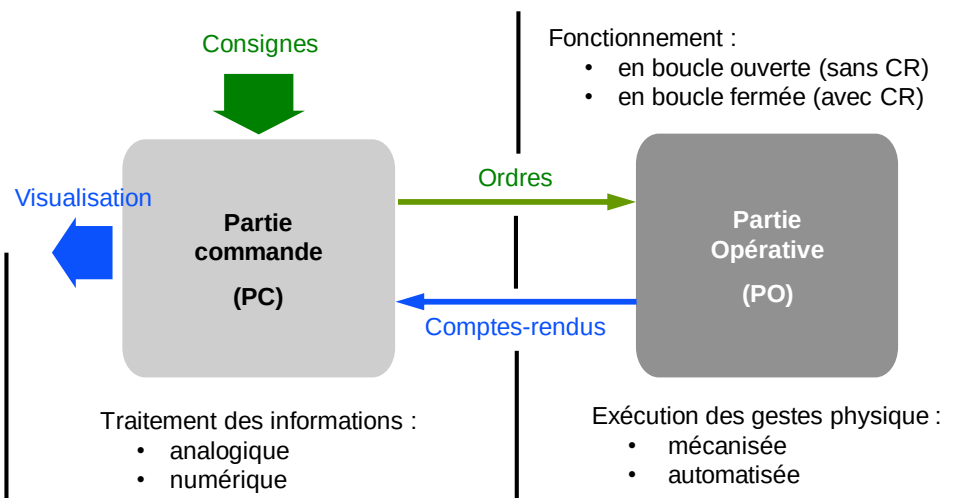
- par l'émission d'ordres (sorties de la partie commande),
- en fonction d'informations disponibles (consignes, comptes rendus, etc.) aux entrées de la partie commande,
- et selon le modèle de la logique programmée, c'est-à-dire en fonction du programme dont elle est dépositaire.

La partie commande peut aussi échanger des informations avec un opérateur ou avec d'autres systèmes. Aussi les parties commandes sont-elles, de plus en plus, construites à partir de technologies électriques et électroniques fonctionnant en logique programmée et non câblée. Il s'agit le plus souvent d'automates programmables dont le fonctionnement et la mise en œuvre sont très voisins de ceux d'un micro-ordinateur.



Au sein d'un système automatisé complexe comme, par exemple, une Machine-Outil à Commande Numérique, la partie commande d'un axe d'usinage doit, bien sûr, piloter l'activité individuelle de sa propre chaîne fonctionnelle. Mais elle doit aussi coordonner cette activité avec les activités de chacun des autres axes d'usinage ; et ce, conformément au modèle de fonctionnement du système, c'est-à-dire

conformément au programme d'usinage entré dans la partie commande de la machine pour réaliser la pièce mécanique souhaitée.

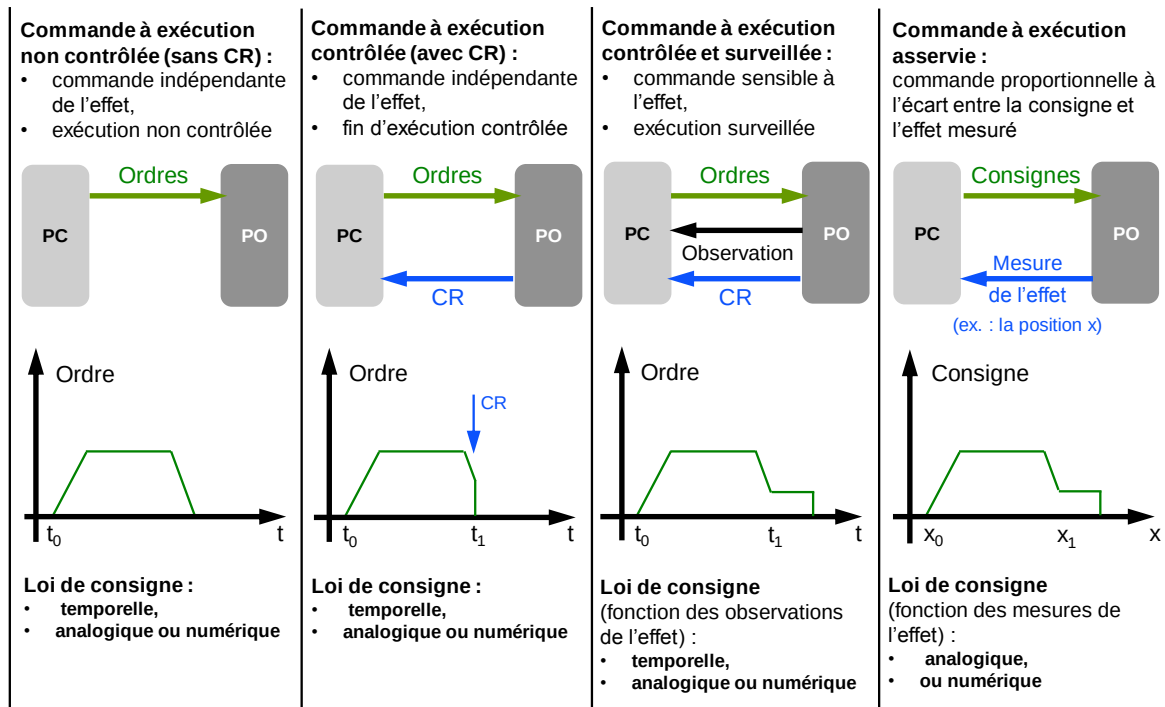


Les modes de commande d'une chaîne fonctionnelle se différencient :

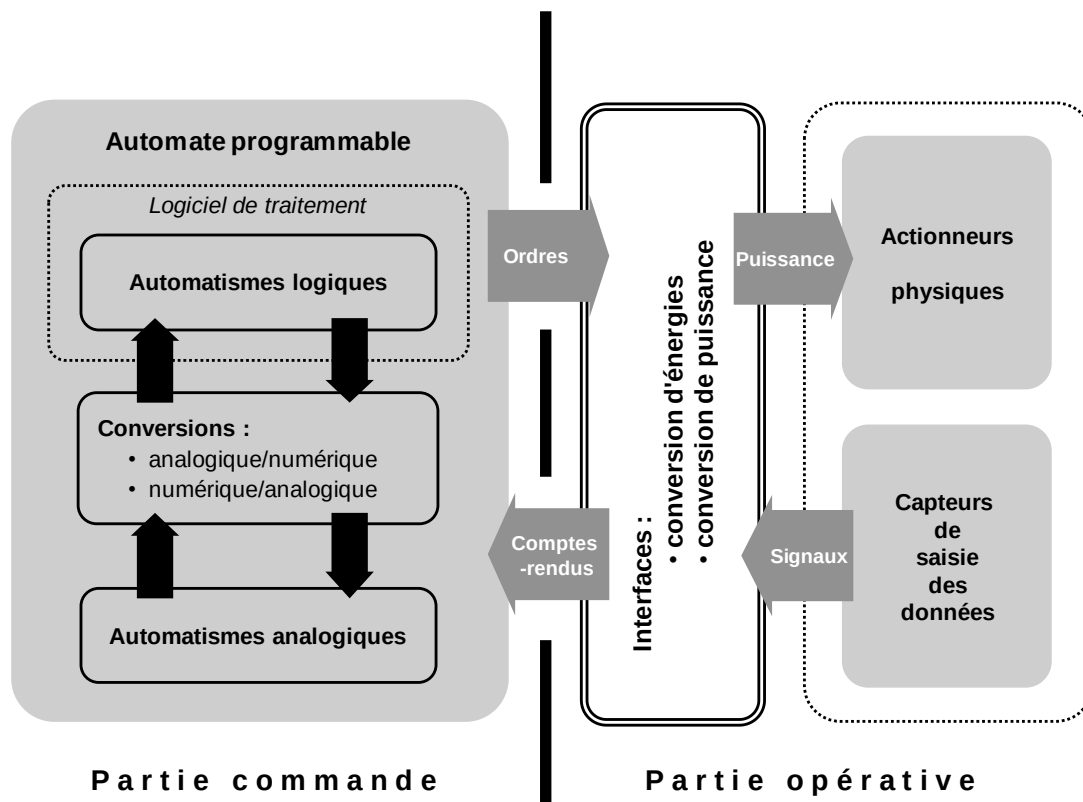
- selon le fonctionnement en boucle ouverte ou fermée, c'est-à-dire avec ou sans comptes-rendus d'exécution,
- selon le traitement analogique ou numérique des informations,
- selon la technologie utilisée :
 - technologie câblée (les fonctions sont réalisées par des liaisons permanentes entre des composants selon un schéma donné),
 - technologie programmée (les fonctions sont réalisées par l'enchaînement des lignes d'un programme modifiable à tout moment).

Le choix entre ces modes prend en compte, outre la technologie, des critères :

- de simplicité (minimisation des coûts),
- de fiabilité (minimisation des défaillances),
- de sûreté de fonctionnement (minimisation des dysfonctionnements),
- de reproductibilité du résultat (précision d'une trajectoire, d'un geste physique, maîtrise des régimes oscillatoires, etc.),
- de qualité du résultat (rapidité d'exécution, maîtrise des régimes transitoires, etc.).



2.3. Organisation des interfaces



Dans un système automatisé, les interfaces sont ces espaces tout à fait particuliers où se font les conversions d'énergie, de puissance ou analogique/numérique.

La conversion d'énergie

Elle a lieu dans l'interface qui réunit la partie commande et la partie opérative. C'est le cas, par exemple, d'une électrovanne qui, branchée sur l'une des sorties de la partie commande, met ou non sous pression un vérin pneumatique. Dans ce cas, on a bien conversion d'énergie électrique en énergie pneumatique, puis d'énergie pneumatique en énergie mécanique.

La conversion de puissance

Elle a lieu également dans l'interface située entre la partie commande et la partie opérative. C'est le cas, par exemple, de l'étage électronique de puissance qui transforme le signal à courant faible (quelques mA sous 5 V) généré par la logique programmée en un signal de puissance (0,5 à 1 A sous 12 V) capable de fermer ou d'ouvrir l'électrovanne précédente. Dans ce cas, on a bien conversion de puissance sans, pour autant, de conversion d'énergie.

La conversion analogique/numérique ou numérique/analogique

Elle a lieu à l'intérieur ou à l'entrée de la partie commande. C'est le cas, par exemple, de la transformation d'un signal analogique issu de la partie opérative (compte-rendu) en un signal numérique à transmettre à la partie commande pour en assurer le fonctionnement en boucle fermée. Dans ce cas, on a recours à un convertisseur AN/NA capable d'assurer la conversion dans les deux sens.

3. Conception de la partie commande

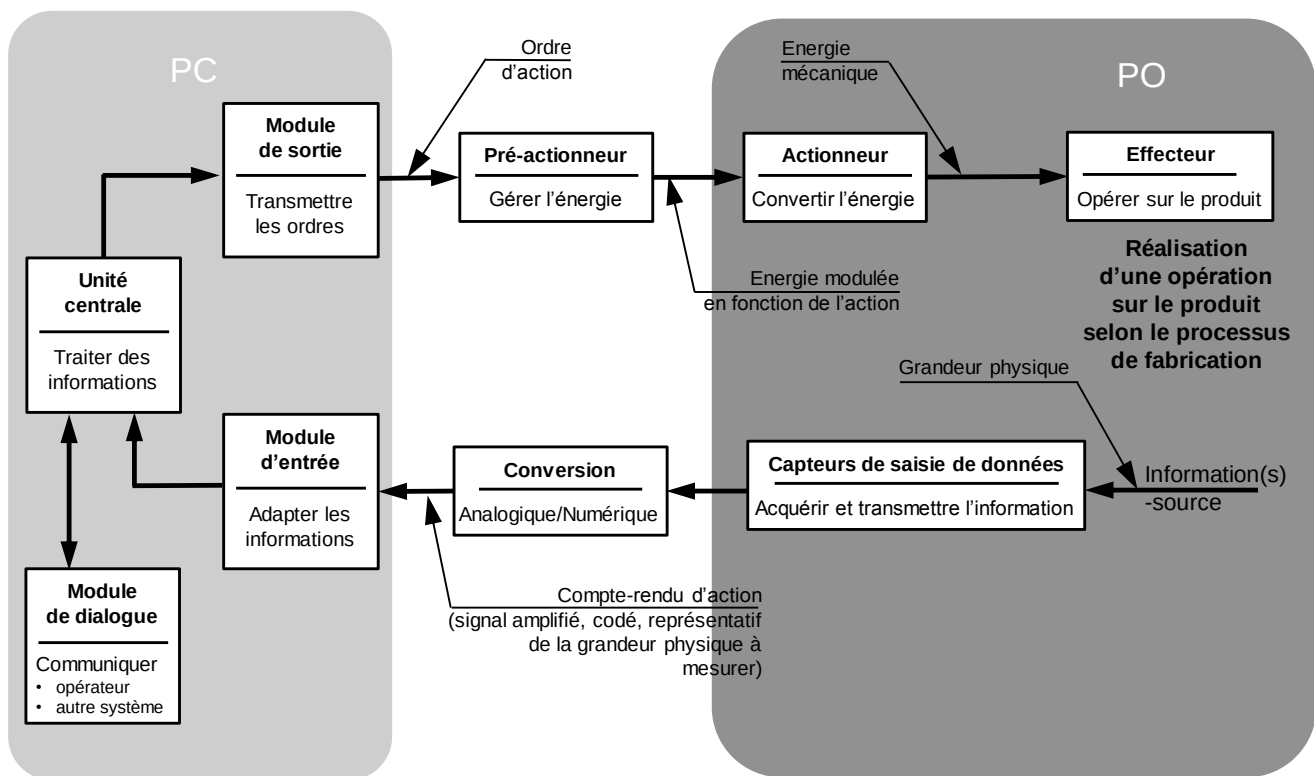
La conception de la partie commande est totalement tributaire de mode de représentation adoptée, c'est-à-dire du ou des schémas réalisés pour :

- *a minima*, la définir avec ce qui y entre et ce qui en sort et la liste des tâches qu'elle doit effectuer,
- *a maxima*, rendre compte de son fonctionnement, de l'ordre et des conditions dans lesquelles elle doit effectuer ces tâches.

Sont présentés dans ce qui suit quatre modes de représentation de la partie commande de tout système automatisé :

- la **représentation fonctionnelle** à l'aide du **schéma-blocs** ; une représentation qui ne se limite pas à la seule partie commande, mais qui intègre nécessairement la partie opérative ;
- la **représentation logique**¹ à l'aide du **GRAFCET** que l'on introduira sur un exemple par une présentation de l'algorithme ;
- la **représentation temporelle** à l'aide de **chronogrammes** permettant de visualiser la durée des informations, des signaux de commande, des actions commandées ; c'est-à-dire d'une façon générale l'évolution dans le temps des fonctionnalités assurées par le système.

¹ On devrait plutôt dire « la représentation de la logique » de la partie commande.



Dans ce schéma, chaque bloc présente par conséquent une double signification :

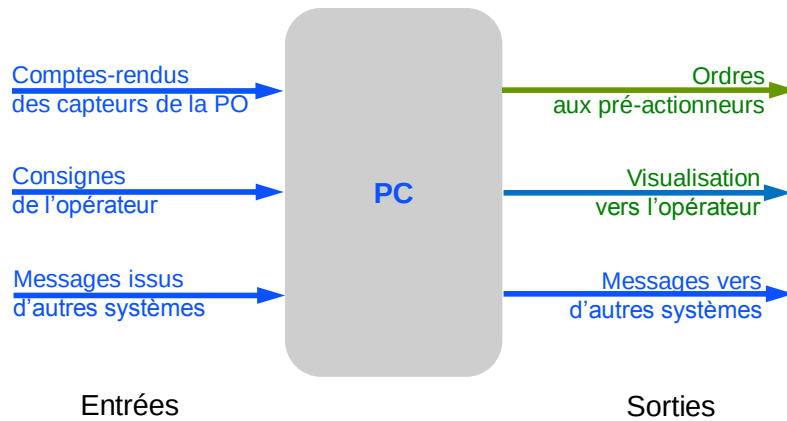
- une signification en termes de **constituant** (exemples : *un actionneur* ou *un capteur*) ;
- une signification plus générale en termes de **fonctions assurées** (exemples : *agir sur le processus, acquérir et transmettre une information*).

Les liaisons entre blocs ont également une double signification topo-fonctionnelle :

- une **signification topographique** de proximité, liée à la nécessité d'une connexion physique pour échanger des signaux deux à deux (exemple : le pré-actionneur doit être relié, par un fil électrique, à la sortie de la partie commande et, par un câble ou un tuyau à l'actionneur) ;
- une **signification fonctionnelle** en termes de nature et de sens de la relation d'échange (exemple : le module de sortie adresse un ordre d'action au pré-actionneur).

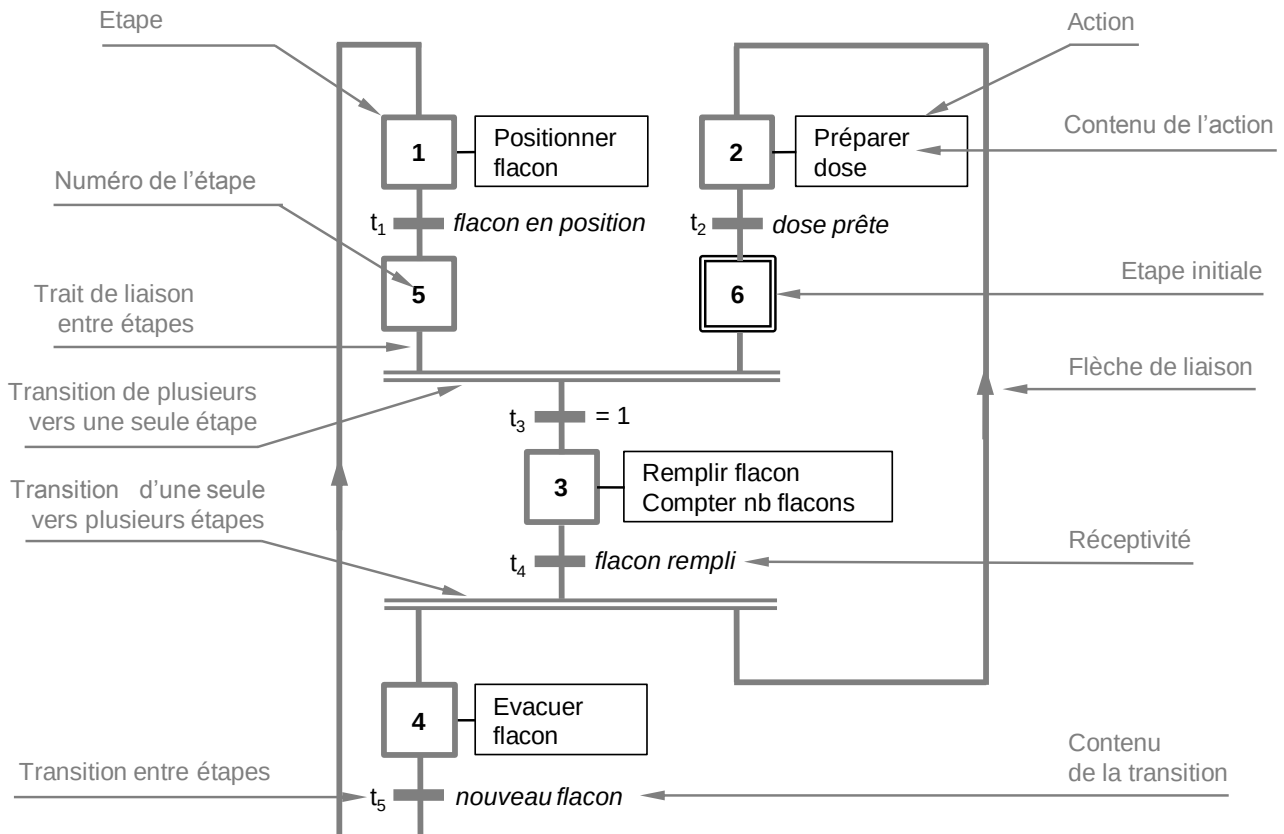
3.2. Représentation logique (GRAFCET)

Le **GRAFCET** (Graphe Fonctionnel de Commande des Etapes et des Transitions) est un modèle normalisé de représentation graphique des comportements successifs d'un système logique préalablement défini par ses entrées et ses sorties.



Ce modèle de représentation est constitué d'éléments graphiques codifiés qui sont tous déclinés dans le schéma qui suit et dont les trois principaux sont listés ci-dessous :

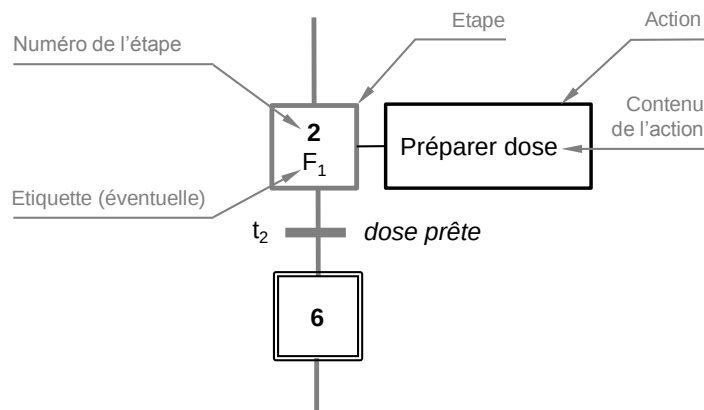
- les étapes correspondant aux gestes physiques de la partie opérative,
- les transitions entre étapes,
- les liaisons orientées qui relient des étapes à des transitions.



Ce modèle de représentation d'un système automatisé traduit le comportement de sa partie commande :

- en fonction de l'état logique de ses entrées/sorties,
- en fonction des propositions logiques qui apparaissent à la sortie de chacune des étapes sur la transition qui la relie à celle située immédiatement en dessous dans le schéma² ;
- et, bien sûr, en fonction du résultat des actions effectuées par les actionneurs de la partie opérative associées aux étapes.

Il est régi par des règles d'évolution qui définissent formellement le comportement dynamique du système automatisé.

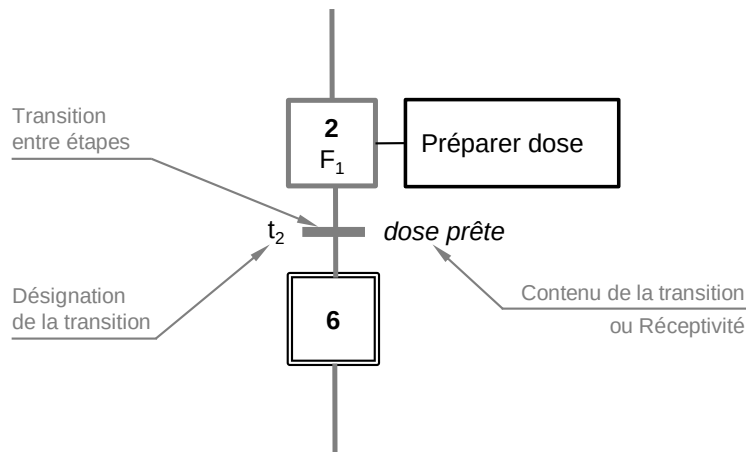


Une **étape**, correspond, dans le comportement du système automatisé, à un geste physique à effectuer (par exemple pour l'étape 2 : Préparer dose).

Chaque étape est symbolisée par un carré dans lequel figure un numéro d'ordre qui indique l'ordre logique dans lequel sont effectuées les étapes par le système automatisé ; parfois s'ajoute à ce numéro d'ordre une étiquette de repérage.

Le geste physique correspondant à l'étape est inscrit dans un rectangle relié au carré : sa désignation commence toujours par une majuscule. Plusieurs gestes physiques peuvent être associés à une même étape (par exemple pour l'étape 3 : Remplir flacon et Compter nb flacons).

² Attention l'enchaînement des étapes sur le schéma est un enchaînement logique et non pas l'ordre chronologique de réalisation des étapes donné par le numéro d'ordre figurant dans le carré

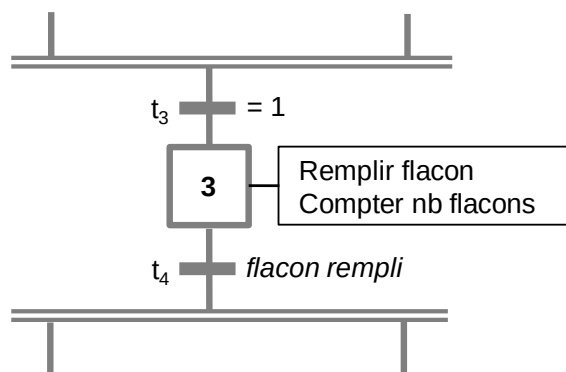


Une **transition** représente le passage d'un geste physique au suivant, d'une action à effectuer à la suivante. La transition représente par conséquent le nouvel état logique du système une fois réalisée l'étape précédente et avant que soit réalisée l'étape suivante.

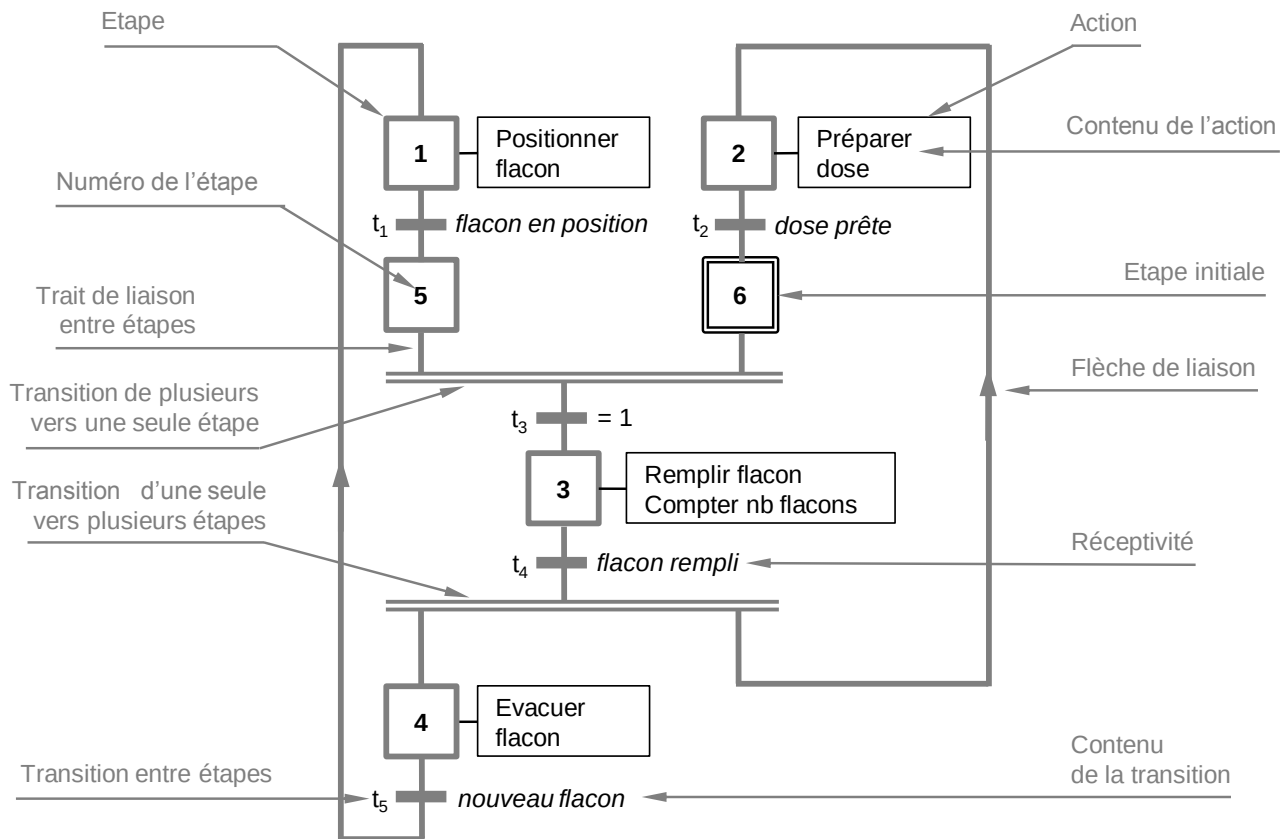
Cet état logique entre deux étapes est en réalité une variable qui, sous la forme d'une proposition logique, rend compte de la transition entre ces deux étapes : on désigne cette variable ou proposition logique sous le nom **réceptivité** (par exemple pour la transition t_2 entre les étapes 2 et 6, la réceptivité est *dose prête*). Une transition représente une, et une seule, possibilité d'évolution ; à deux possibilités d'évolution distinctes correspondent donc deux transitions distinctes ; et ce, même si elles ont l'une et l'autre la même réceptivité.

Chaque transition entre deux étapes est indiquée par un ensemble de traits :

- un **trait fort sur la liaison** : la réceptivité est écrite à droite ou au-dessous de ce trait
- et **deux traits parallèles auxquels sont reliés les liaisons** entre étapes dans les cas où la transition s'effectue entre plusieurs étapes.



Chaque transition est repérée par une lettre suivie d'un numéro en indice (t_3 ou t_4 , par exemple). La réceptivité est une variable ou une proposition logique. Son écriture commence par une minuscule et, si elle est toujours vraie, elle se note : = 1 (voir la transition t_3 qui précède l'étape 3 sur le GRAFCET de la page 15 ou sur le schéma ci-dessus).



Toujours dans ce même exemple, figurent deux cas particuliers où le franchissement d'une transition se fait :

- soit de plusieurs étapes vers une seule : des deux étapes 1 et 2 vers l'unique étape 3 ;
- soit d'une seule étape vers plusieurs : de l'unique étape 3 vers les deux étapes 4 et 2.

Dans le premier cas, le franchissement de la transition t_3 ne peut se faire que si les étapes 1 ET 2 sont actives. Pour ce faire, les évolutions des étapes 1 et 2 qui restent indépendantes doivent donner simultanément leurs résultats pour que puisse être franchie la transition t_3 toujours maintenue à l'état logique 1. C'est pour obtenir cette simultanéité des résultats qu'ont été insérées, sous les étapes 1 et 2, les deux étapes d'attente 5 et 6 qui, quand elles sont l'une ET l'autre actives, permettent le franchissement de la transition t_3 et l'activation de l'étape 3.

Dans le deuxième cas, le franchissement de la transition t_4 conduit à activer en même temps les deux étapes 4 et 2. Pour ce faire, dès que l'étape 3 est active, la réceptivité *flacon rempli* devient VRAIE et autorise le franchissement de la transition t_4 . Et c'est ce franchissement de t_4 qui active simultanément les étapes 4 ET 2.

Dans ce qui suit nous allons concevoir la partie commande d'un système de palettisation de cartons avant leur expédition sur une palette. Et pour ce faire, nous allons dans un premier temps construire l'algorithme puis, dans un second temps, le GRAFCET de sa partie commande.

Exemple d'application du GRAFCET à la conception de la partie commande d'un palettiseur automatisé

Il s'agit d'un système automatisé de palettisation de cartons de mêmes dimensions sur une palette selon une disposition parfaitement déterminée à partir des dimensions à la fois des cartons et de la palette.

Ce palettiseur peut tout aussi bien être une machine spéciale dédiée uniquement à la palettisation d'un même modèle de cartons ou être plus vraisemblablement un système partiellement robotisé ou doté d'un manipulateur capable, par changement de programme, de palettiser plusieurs modèles de cartons.

Un tel système doit successivement :

- acquérir les paramètres de la palettisation, c'est-à-dire les dimensions du modèle de cartons et de la palette, le nombre X de cartons par rangée et le nombre Y de rangées à disposer sur la palette ;
- amener les cartons dans lesquels sont emballés les produits finis à la sortie d'une chaîne de fabrication probablement automatisée ;
- disposer X cartons, selon les dimensions du modèle, sur une même rangée ;
- transférer la rangée des X cartons sur la palette jusqu'à ce qu'ait été atteint le nombre prédéterminé des Y rangées que peut accueillir la palette.

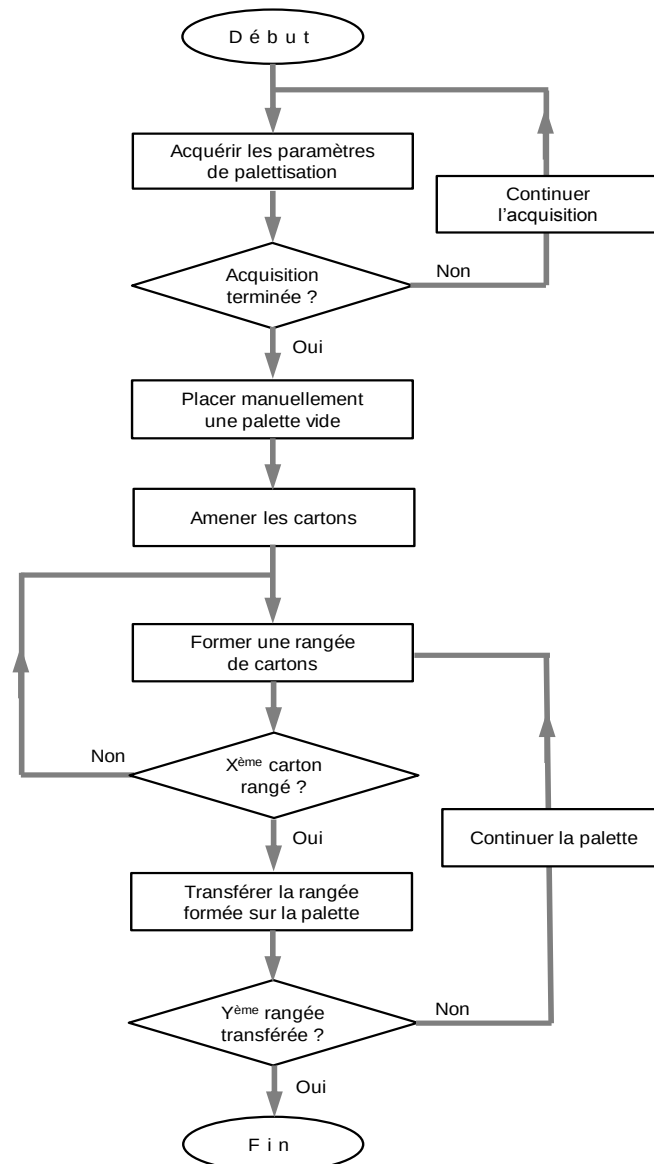
Cette description de ce que doit être capable de faire le système automatisé est un texte littéral qui pourrait figurer dans le *Cahier des Charges* de conception et de réalisation d'un tel palettiseur. Cette description en langage courant doit faire l'objet d'un premier travail d'analyse de nature à en « durcir » le texte, c'est-à-dire à en rendre les termes plus concis et précis afin de faire ressortir la logique du fonctionnement du système ; logique préalable à l'écriture de son programme de fonctionnement.

Cette première analyse permet de bien énoncer les tâches que doit exécuter le système et de déterminer l'ordre le plus probable dans lequel le système devra les exécuter :

- *Acquisition des paramètres de palettisation* : dimensions des cartons et nombre X de cartons par rangée et nombre Y de rangées
- *Placement manuel d'une palette vide* : remplacement de la palette chargée
- *Amenage des cartons* : alimenter en cartons provenant d'un poste d'emballage situé juste à la sortie d'une chaîne de fabrication probablement automatisée
- *Formation d'une rangée de X cartons* : ce nombre X de cartons est un des paramètres de la palettisation
- *Transfert des Y rangées formées sur la palette* : ce nombre Y de rangées est un autre des paramètres de la palettisation

Fort de cette simple analyse, il s'agit de représenter avec exactitude et précision le fonctionnement du système automatisé de palettisation. Cette représentation se doit d'être parfaitement univoque ; elle ne doit pas pouvoir être interprétée autrement que ce qu'elle dit du système qu'elle représente. Préalablement au GRAFCET, établissons l'algorithme du fonctionnement du système. Plus connue que le GRAFCET, l'algorithme en facilitera le moment venu la compréhension.

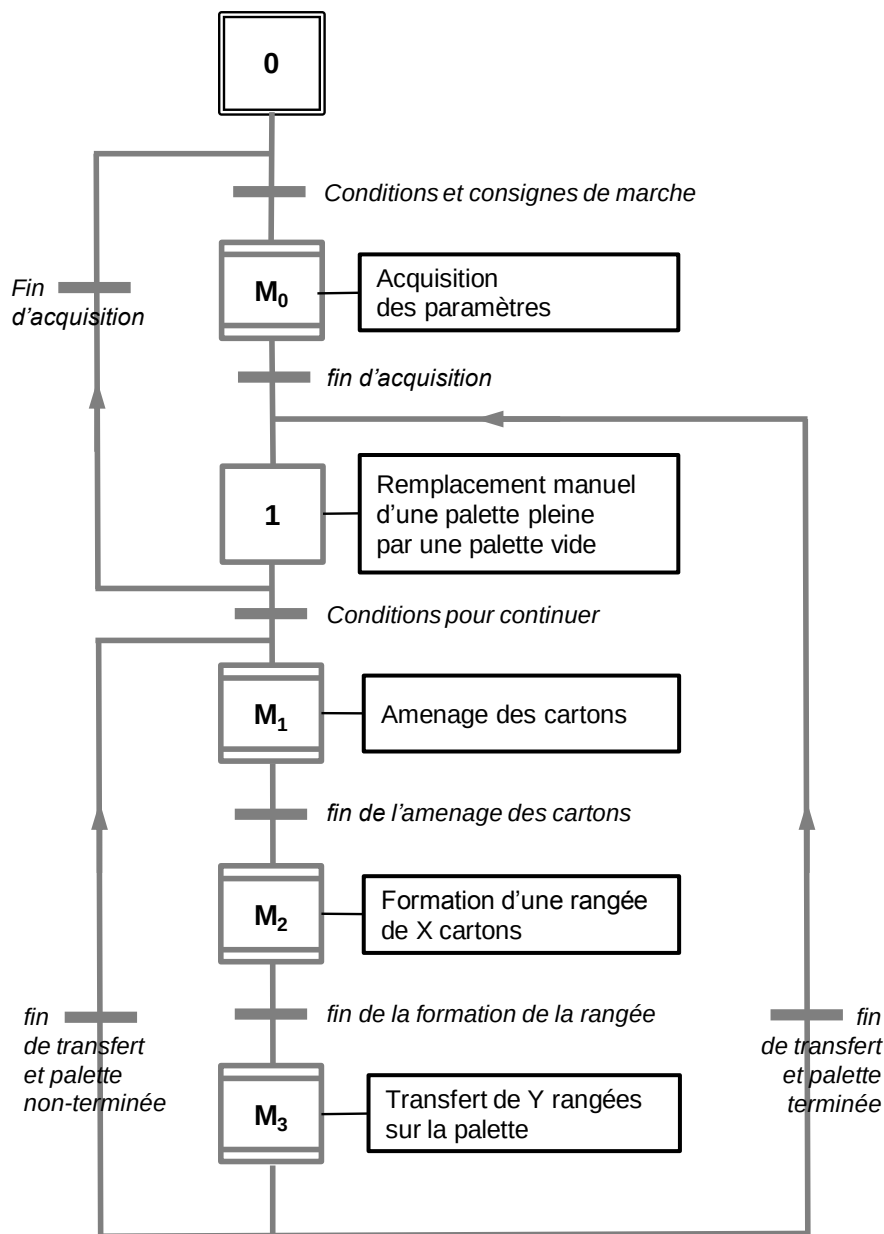
L'**algorithme** est un mode universellement utilisé de représentation du fonctionnement logique d'un système automatisé. Appliqué au palettiseur, ça donne le schéma suivant qui reprend et met en relation toutes les tâches déclinées dans la précédente analyse.



Il comporte trois boucles d'itération : la première relative à la série de paramètres à saisir, la seconde relative au nombre de cartons à disposer sur une rangée et la troisième relative au nombre de rangées à transférer sur la palette. Nous n'en dirons pas plus sur cet algorithme qui, plus familier que le GRAFCET, se veut une aide préalable à la compréhension de ce dernier.

Le GRAFCET³ (Graphe Fonctionnel de Commande des Étapes et des Transitions) est une représentation graphique normalisée du fonctionnement d'un système automatisé. Comme l'algorithme, cette représentation intègre les mêmes tâches déclinées précédemment :

- des tâches de commande telles que « Acquisition de paramètres »
- des tâches opératives telle que « Amenage des cartons » et dont une est manuelle « Placer manuellement une palette vide » dans l'algorithme ou « Remplacement manuel d'une palette pleine par une palette vide » dans le GRAFCET.



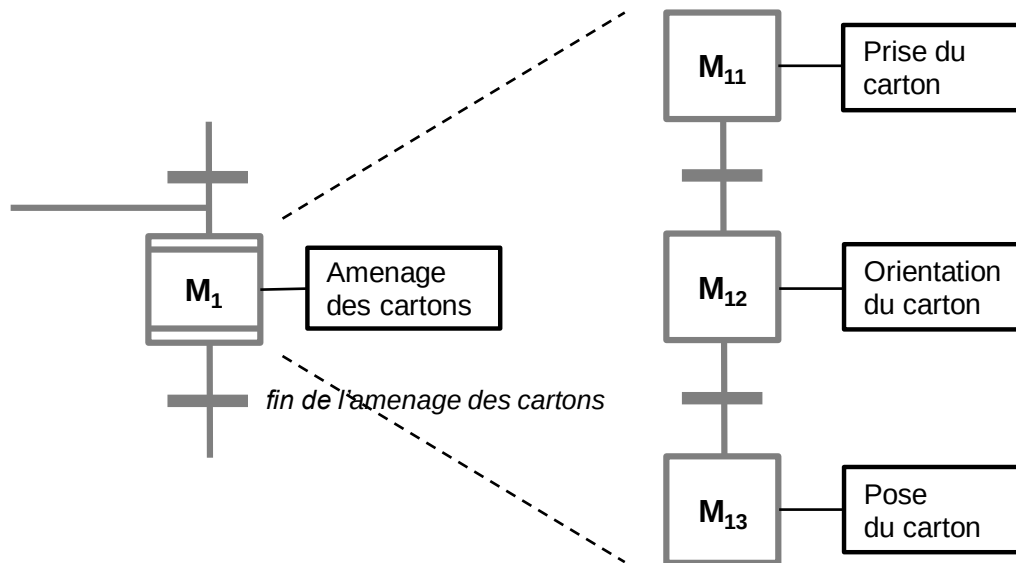
³ Le GRAFCET répond à la norme française [NF C 03-190](#) et à la norme européenne EN 60848.

Remarque importante

Certaines étapes sont représentées par des carrés ayant deux traits supplémentaires horizontaux en haut et en bas



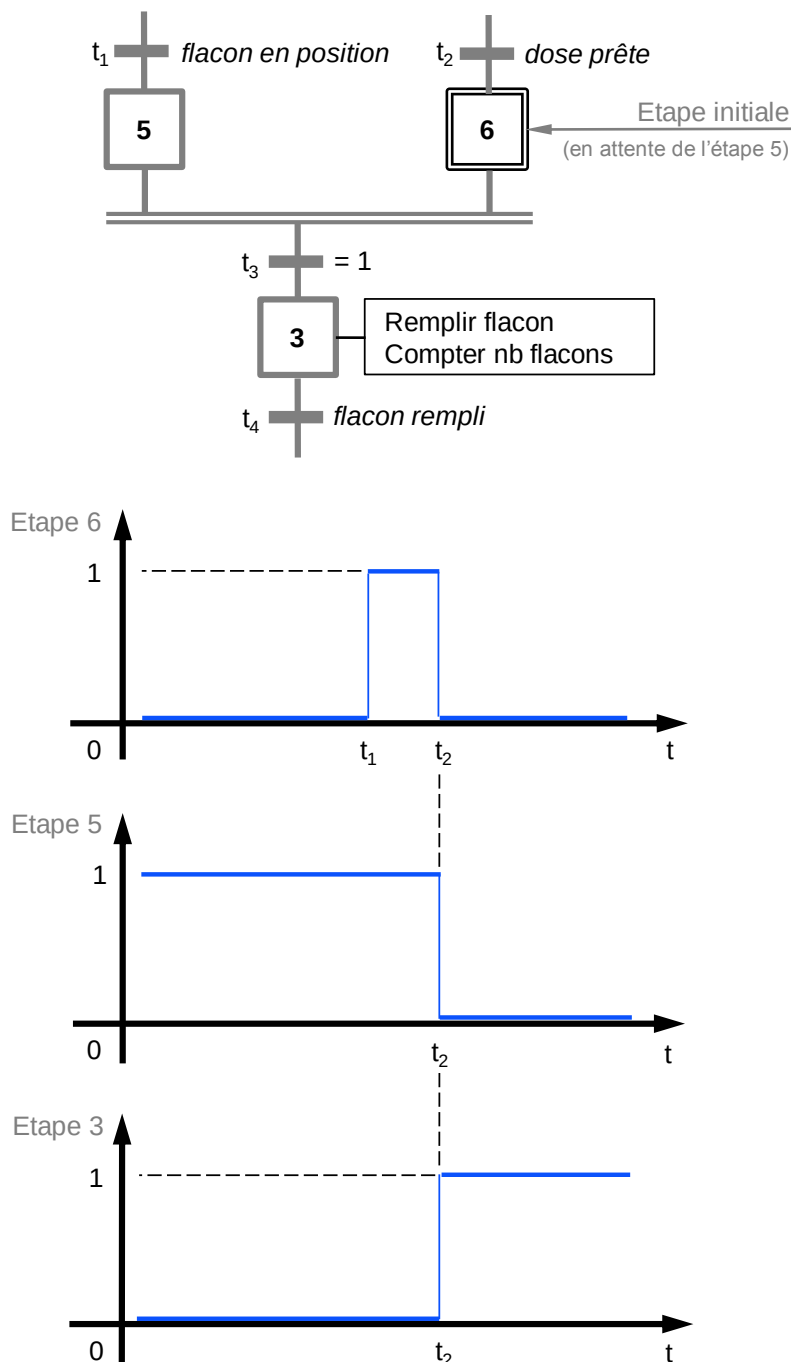
Ces étapes sont dites **macro-étapes** parce que regroupant plusieurs **étapes élémentaires** non représentées pour simplifier le schéma.



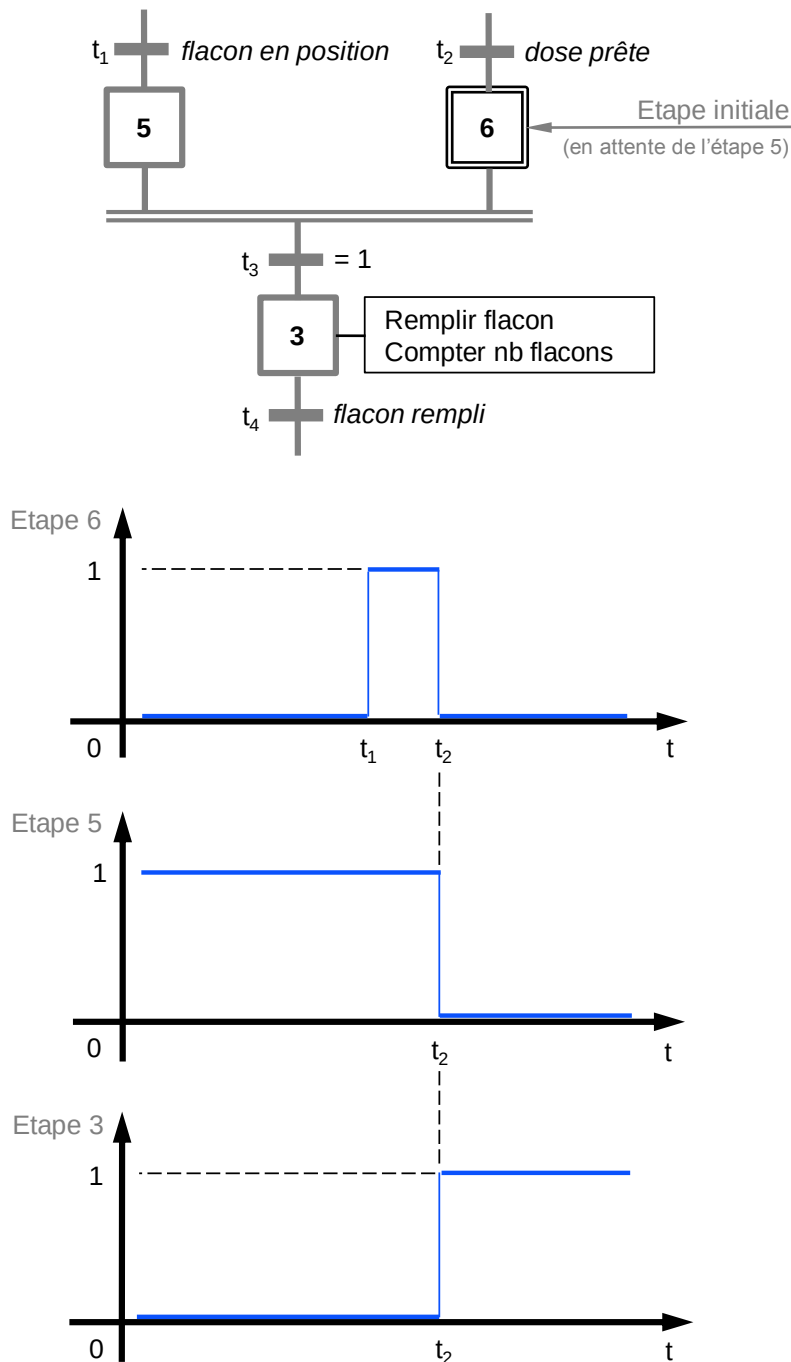
Par exemple, on peut imaginer que ces trois étapes élémentaires, M_{11} , M_{12} et M_{13} , sont exécutées par un robot dédié à la préhension et au positionnement d'objets.

3.3. Représentation temporelle (chronogramme)

La représentation temporelle graphique est la seule représentation permettant de visualiser aisément les durées des actions ou des informations des systèmes. Mais c'est également un outil très efficace pour expliquer le fonctionnement de fonctions logiques. L'outil de base est le **chronogramme**. C'est un ensemble de diagrammes cartésiens comportant, en abscisse, la variable temps et, en ordonnée, l'état de la fonction (analogique ou logique) ou de la variable (analogique, numérique ou logique) dont on veut ainsi représenter l'évolution en fonction du temps.



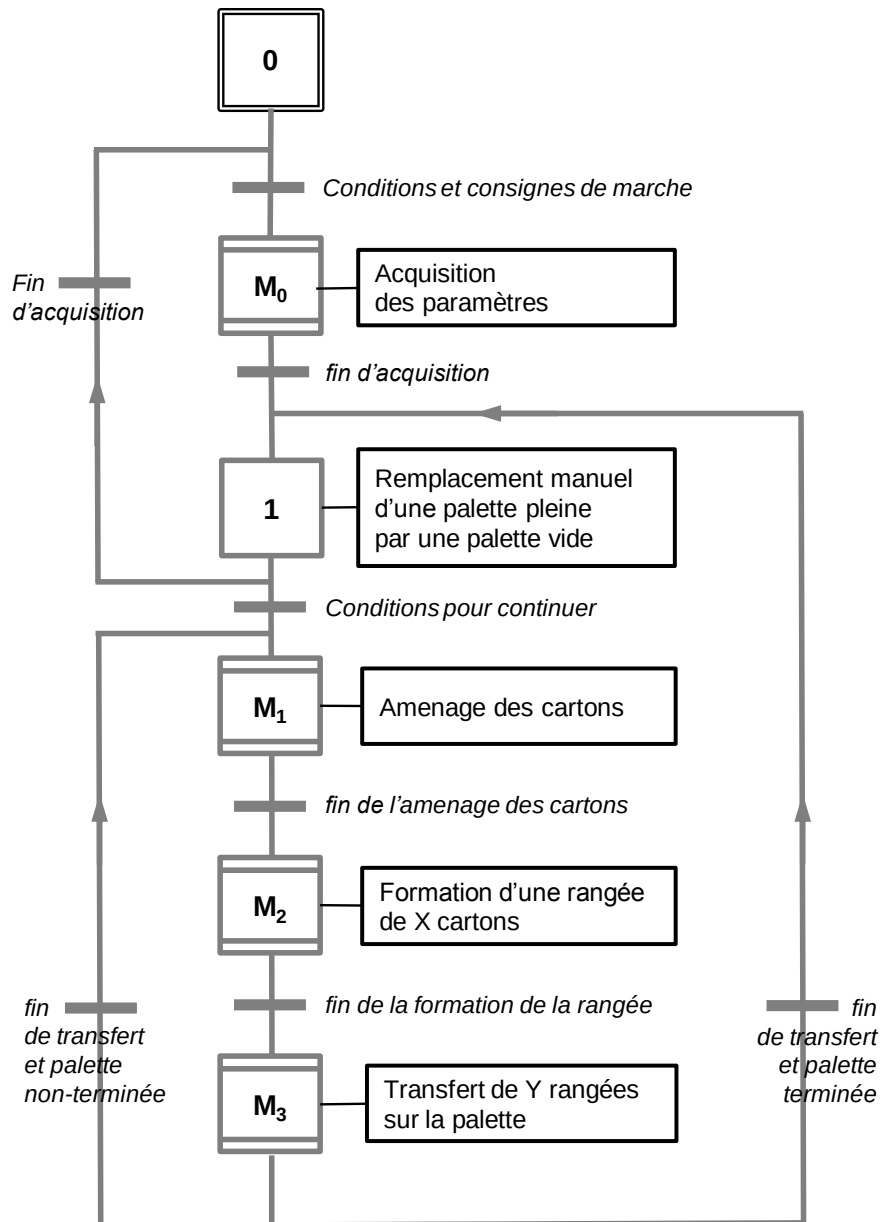
Lorsque l'on veut examiner l'évolution simultanée de plusieurs fonctions, actions ou variables, on placera toujours leurs diagrammes les uns au-dessus des autres au sein d'un même chronogramme, avec la même origine et la même unité de temps en abscisse.



Ces diagrammes représentent l'état de fonctions, d'actions ou de variables logiques dont on souhaite connaître les évolutions en fonction du temps. Par convention, on ne marque par un trait fort que les durées pendant lesquelles ces actions ou ces variables sont dans l'un des deux états stables 0 ou 1.

Exemple d'application des chronogrammes à la conception de la partie commande d'un palettiseur automatisé

La succession des tâches dans le temps peut être décrite par un chronogramme où toutes les opérations sont montrées en même temps. Reprenons le GRAFCET de la partie commande du palettiseur.

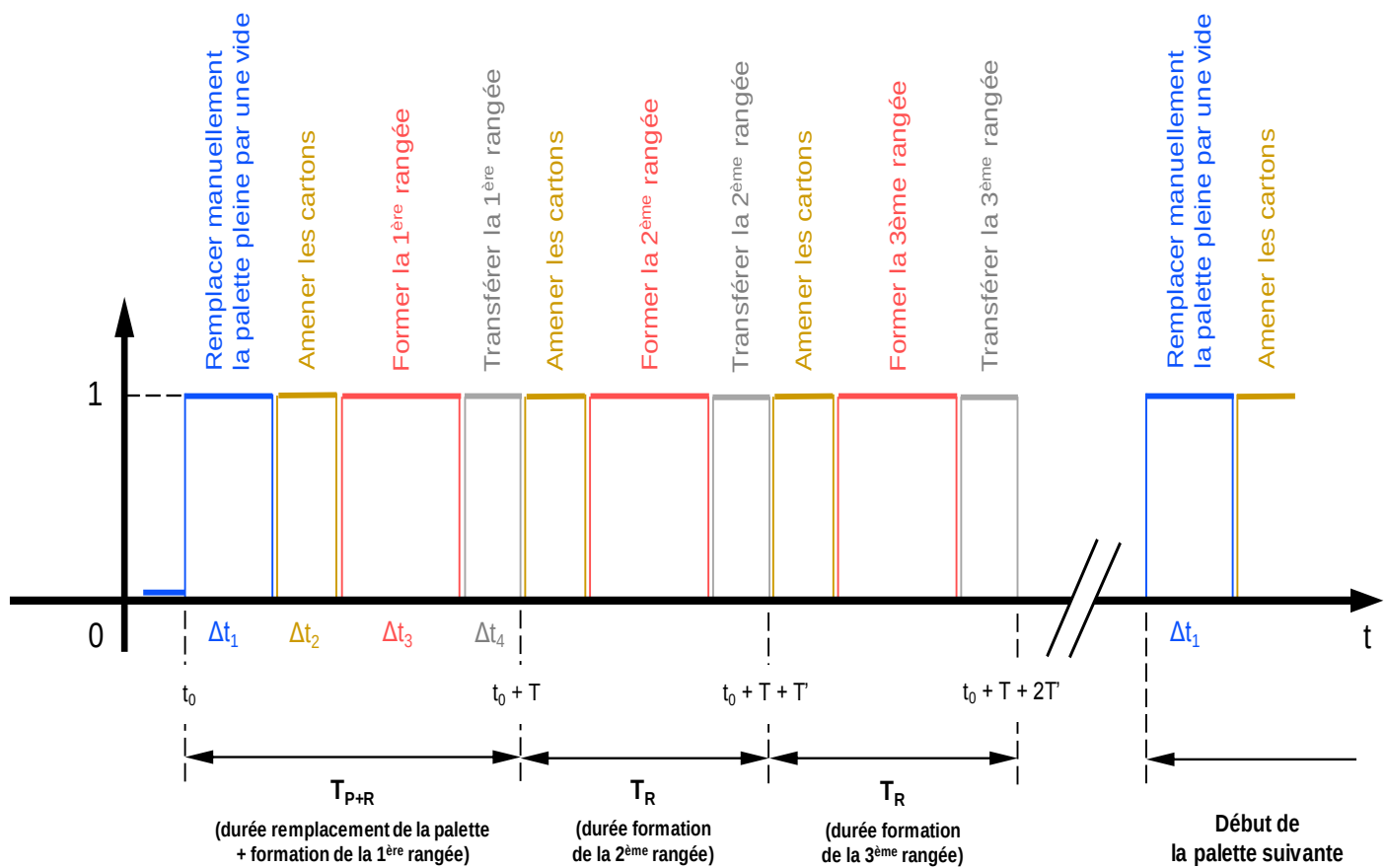


Dans cet exemple du palettiseur, l'enchaînement des quatre actions successives 1, M₁, M₂ et M₃ est parfaitement linéaire. Du fait de ce caractère linéaire, le temps de cycle correspondant à l'exécution des quatre tâches est la somme des durées de chacune de ces quatre actions. Bien sûr, durant l'exécution du transfert sur la palette d'une rangée de X cartons, la formation de cette rangée est suspendue ; et, de la même façon, durant la formation de la rangée est *a fortiori* suspendu l'amenage des cartons.

Pris comme exemple pour illustrer la conception, à l'aide de son chronogramme, de la partie commande d'un système automatisé, on trouvera ci-dessous celui du palettiseur grâce auquel :

- est manuellement remplacée une palette pleine par une vide,
- sont formées et transférées successivement trois rangées de cartons sur cette palette
- avant de passer à la palette suivante.

Palettisation de 3 rangées de cartons



3.4. Représentation technologique (symboles normalisés)

Si la représentation à *schémas-blocs* des chaînes fonctionnelles est souvent suffisante pour décrire l'organisation structurale et le fonctionnement logique d'un système automatisé, elle est insuffisante pour précisément identifier et câbler les constituants non seulement de la partie commande, mais aussi ceux de la partie opérative. Il est alors nécessaire de passer à des représentations dites technologiques où figurent :

- des chaînes d'acquisition ou de pilotage appelées **schémas de commande** ;
- des chaînes d'action appelées **schémas de puissance**.

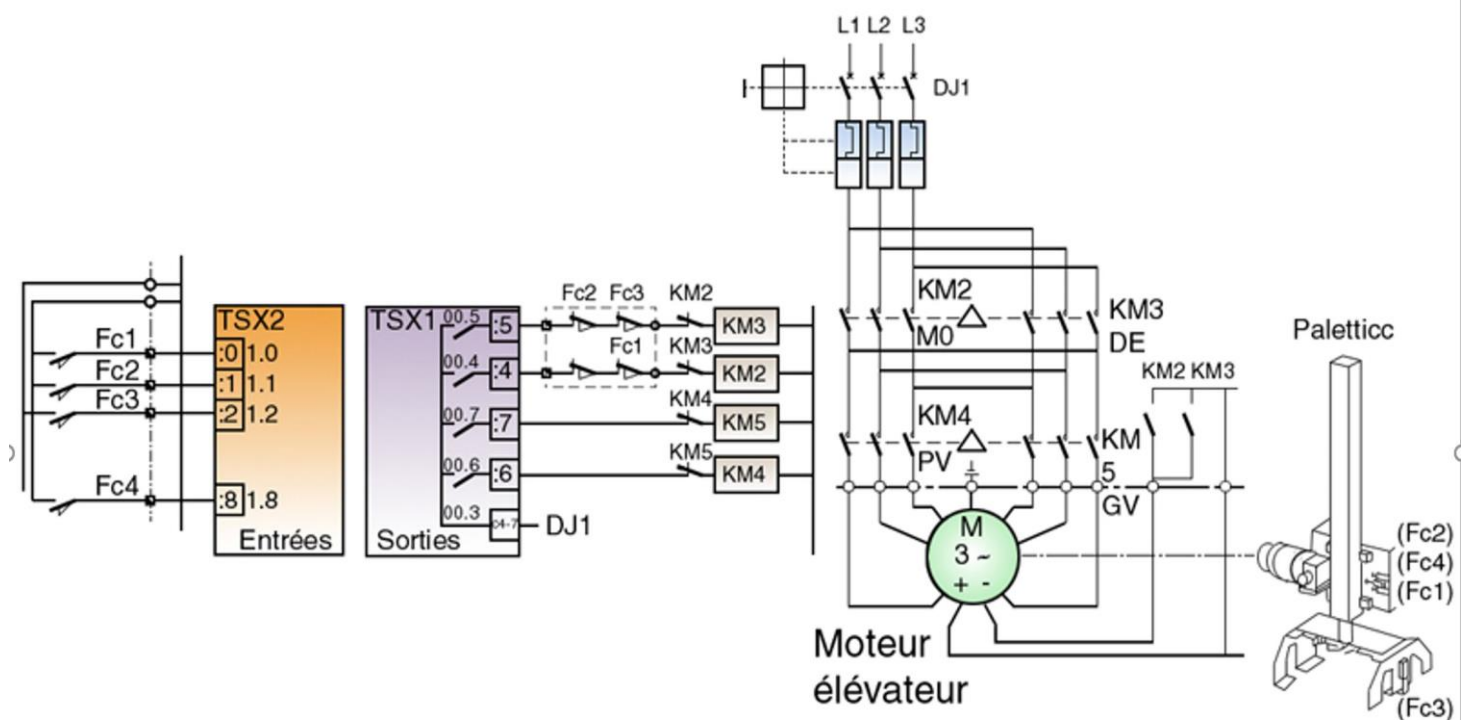
Pour étudier et bien comprendre une chaîne fonctionnelle particulière, il convient :

- d'abord de l'isoler au sein de l'ensemble du schéma technologique général,
- puis d'en repérer les composants électroniques, électriques, électromécaniques et mécaniques nécessaires à son fonctionnement.

Le schéma ci-dessous est un bon exemple de représentation technologique du palettiseur automatisé précédent. On remarquera que ce schéma n'est plus seulement une représentation de la partie commande du système, mais une représentation aussi de sa partie opérative.

On y trouve tous les composants :

- de la partie commande tels qu'un automate programmable et ses entrées-sorties,
- de la partie opérative tels que le manipulateur des cartons et sa motorisation.



4. Conception de la partie opérative

La conception de la partie opérative d'un système automatisé est singulièrement différente de celle de la partie commande. C'est d'elle que dépend la façon dont le système automatisé va agir sur le produit fabriqué en y apportant la valeur ajoutée attendue. C'est lors de la conception de la partie opérative que vont être choisis les gestes physiques à exécuter sur le produit, les outils requis pour exécuter ces gestes et surtout peut-être les conditions dans lesquelles « se rencontreront » outils et produits.

Si la conception de la partie opérative d'un système automatisé procède par l'application de représentations codifiées ou normalisées telles que le schéma-blocs, le GRAFCET ou le chronogramme, la conception de sa partie opérative ne dépend pas de telles représentations iconographiques ou logiques, formelles ou normalisées. Elle repose bien davantage sur des principes de raisonnement dont les fondements sont plus culturels que logiques, certainement plus ... philosophiques que fonctionnels.

Ces principes de conception de la partie opérative de tout système automatisé sont au nombre de trois. Et de leur respect scrupuleux dépend, le moment venu, la pertinence (adéquation du résultat), la performance (qualité du résultat) et la productivité (rentabilité économique) de la solution ou des solutions techniques retenues pour produire.

La solution ou les solutions à mettre en œuvre étant retenues, il ne reste plus qu'à la ou les matérialiser par le choix successivement des capteurs et des actionneurs.

4.1. Principes de conception

On ne peut pas parler d'une véritable méthodologie de conception de la partie opérative d'un système automatisé. En revanche, on peut énoncer trois principes simples qui sont de nature à aider le concepteur ou le projeteur dans son travail. Ce sont trois principes dont l'application permet au concepteur de lutter contre certains réflexes, parfois naturels, souvent culturels, qui limitent le cadre de sa réflexion et surtout le champ des solutions envisagées.

Tels que le concepteur d'un système automatisé gagne à les appliquer, ces trois principes s'énoncent de la façon suivante :

1. S'affranchir de toute forme d'anthropomorphisme
2. Séparer le geste physique de la physique du geste
3. S'affranchir du *reflex de l'étau*

Enoncés l'un après l'autre, ces trois principes doivent s'appliquer simultanément. Dès qu'il se les sera appropriés, le concepteur les appliquera d'une manière itérative.

Examinons-les successivement.

- Premier principe : **s'affranchir de toute forme d'anthropomorphisme**

Il s'agit, pour le concepteur, qui doit mécaniser puis automatiser un geste physique effectué jusque-là manuellement, d'éviter a priori de reproduire mécaniquement les mouvements de la main tel qu'il a pu les voir effectuer par un opérateur avant que n'ait été décidé l'automatisation de ce poste de travail. Ce concepteur aura peut-être avantage à tout ignorer de la façon dont, jusque-là, cet opérateur s'y prenait pour exécuter manuellement la tâche demandée.

- Deuxième principe : **bien séparer le geste physique de la physique du geste**

Il s'agit, pour le concepteur, de maintenir une distance suffisante entre *ce qui est à faire* (la physique du geste) et *comment s'y prendre* (le geste physique). Par exemple, s'agissant d'un robot de soudage électrique, la pression requise pour assurer la fermeture de la pince à souder et la densité de courant à maintenir durant l'impulsion électrique relèvent de la physique du geste. En revanche, la trajectoire choisie pour amener la pince à souder en position relève bien évidemment du geste physique requis pour réaliser le soudage.

- Troisième principe : **bien s'affranchir du réflexe de l'étau**

Le *réflexe de l'étau*, c'est ce qui se passe lorsque le concepteur d'une machine automatisée doit faire intervenir un outil sur un objet à transformer. Dans ce cas pour le moins banal, le concepteur tend à oublier ou à ne pas voir qu'il peut déplacer l'objet par rapport à l'outil ; alors qu'*il se croit trop souvent obligé* d'immobiliser l'objet sur lequel, mobile, l'outil interviendra. C'est ce qui se passe quand, par exemple, à l'aide d'un système de positionnement [XY], on déplace une carte électronique sous la tête d'insertion des composants, plutôt que de déplacer la tête au-dessus de la carte.

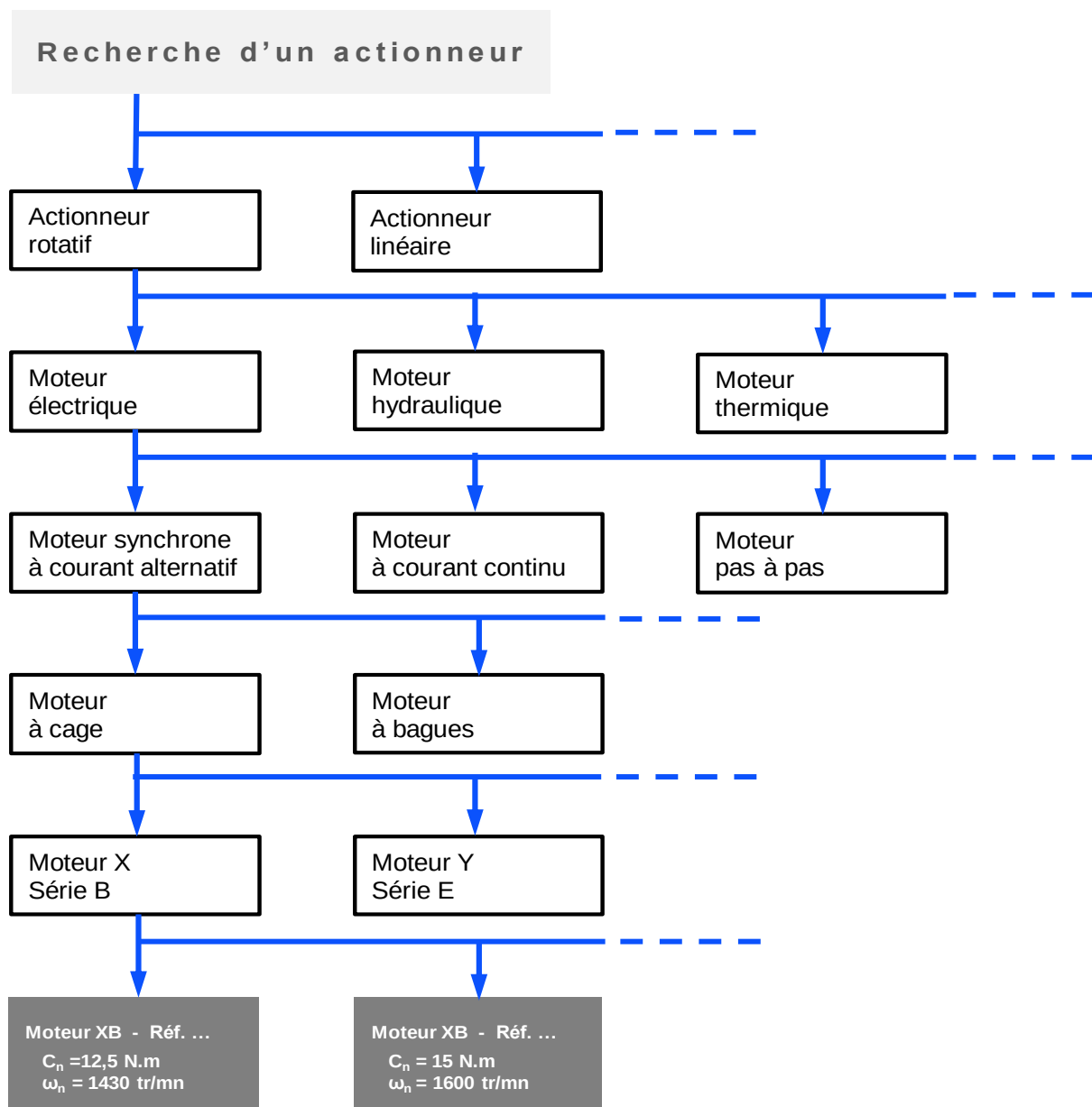
De tels principes amènent nécessairement le concepteur à s'interroger sur la nature du regard qu'il porte sur les objets. Ils l'amènent à élargir le cadre de sa réflexion et à relativiser les résultats de son analyse face aux problèmes qu'il lui faut résoudre.

On comprend ici l'intérêt des outils, des méthodes ou de tout autre formalisme qui, dans la littérature, pourraient apparaître pour appréhender divers cas de figures ou rechercher les solutions possibles. Si devaient effectivement surgir de telles méthodes structurant sans l'enfermer la démarche du concepteur, peut-être pourraient-elles contribuer à maintenir une distance suffisante entre le concepteur d'un système et l'objet de sa conception.

4.2. Choix d'un actionneur

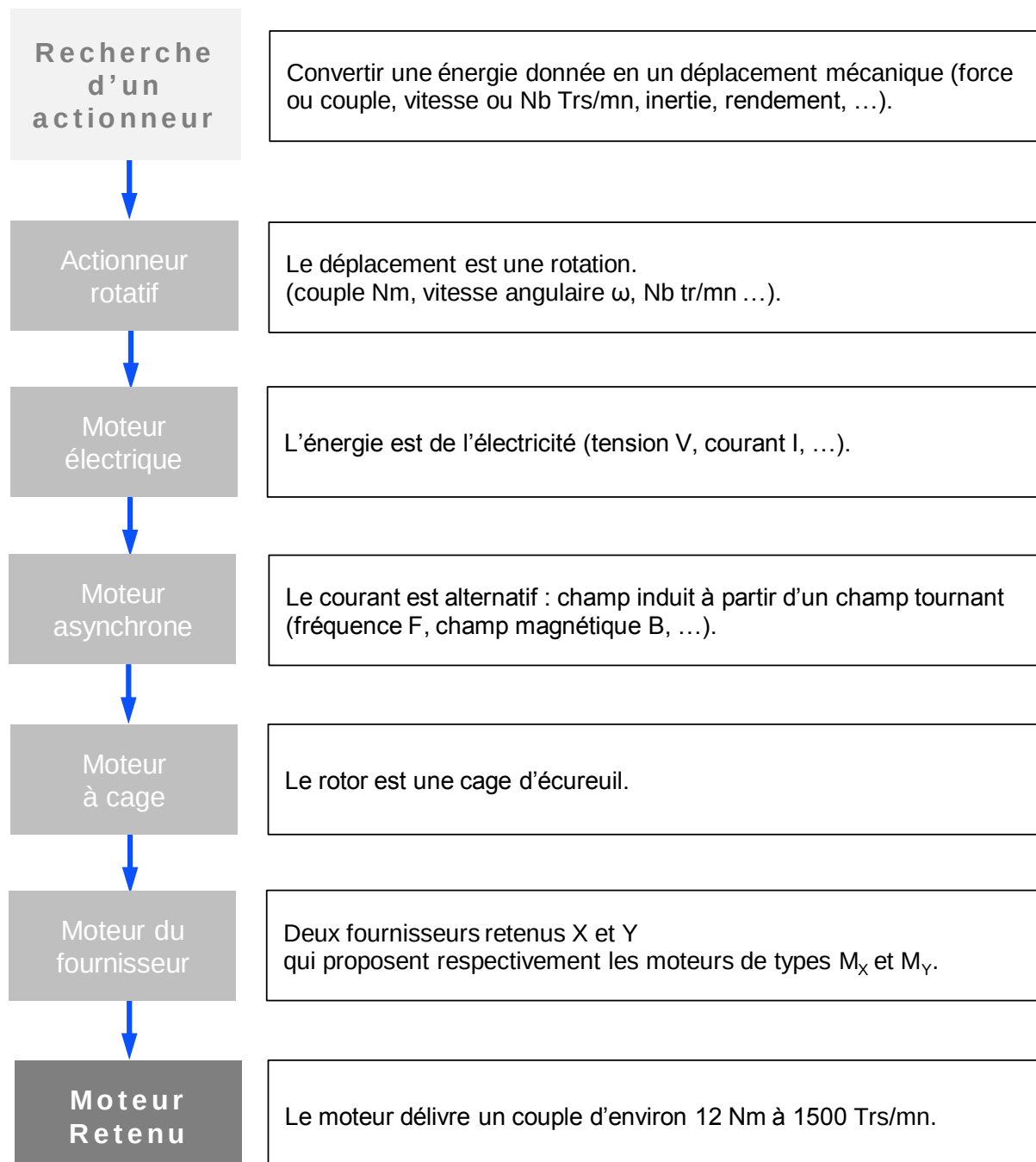
Choisir un actionneur peut être considérablement facilité si on dispose d'**arborescences regroupant les actionneurs d'un même type** : les moteurs dans l'exemple ci-dessous. Au niveau le plus bas de l'arborescence se trouve les actionneurs disponibles avec, pour chacun d'eux, leurs caractéristiques principales.

Repéré à un niveau donné d'une classification, un objet hérite de tous les attributs des objets situés aux niveaux supérieurs de cette même classification. Ainsi par exemple, dans l'arborescence ci-dessous des actionneurs rotatifs, on voit que les moteurs à cage héritent des attributs des moteurs asynchrones à courant alternatif, des attributs de tous les moteurs électriques et des attributs des actionneurs rotatifs en général.



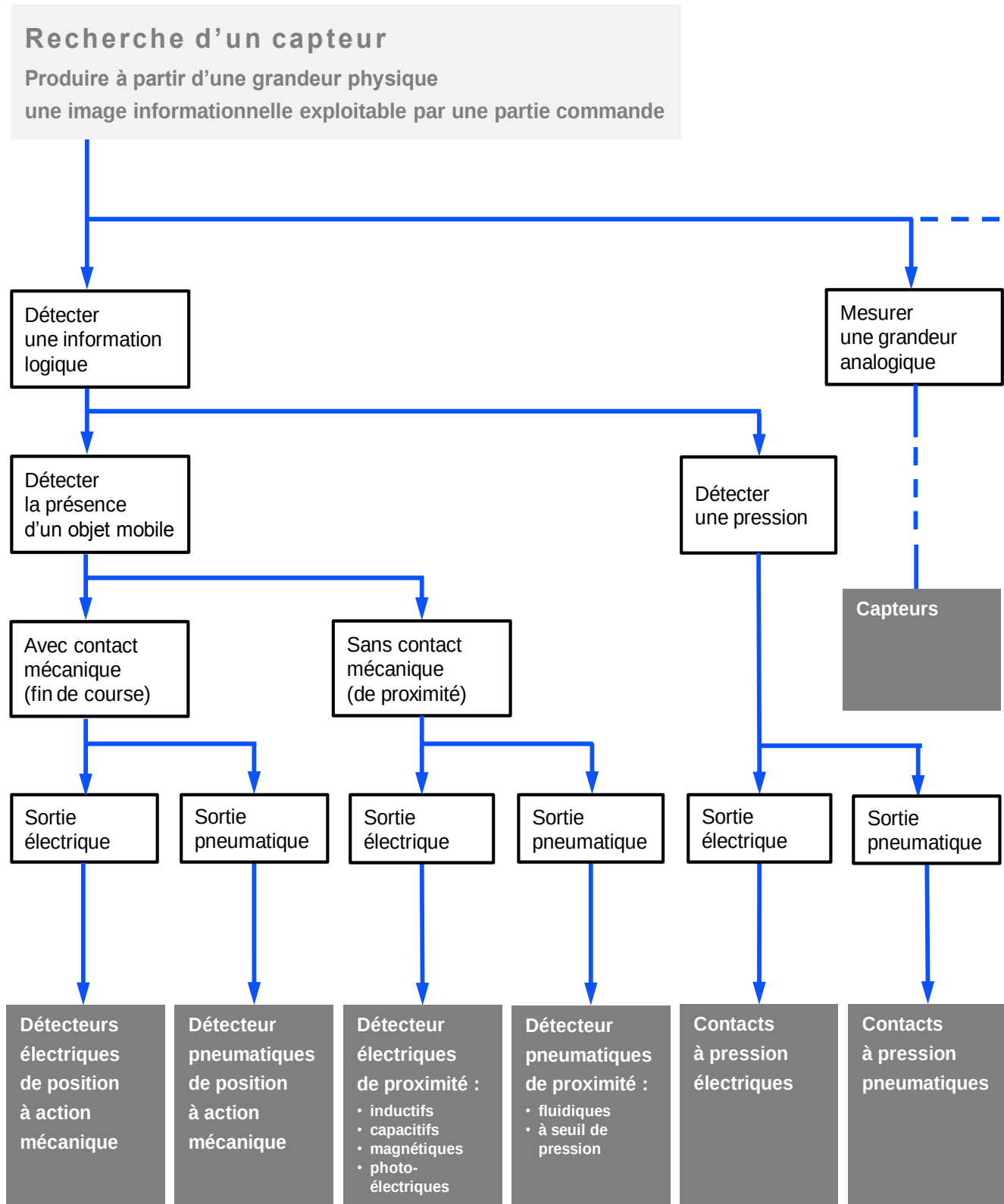
Par conséquent, pour choisir l'actionneur physique capable d'effectuer le geste souhaité, le concepteur va devoir « se mouvoir » dans la précédente arborescence. Il va en effet devoir répondre à une suite chronologique de questions qui se succèdent à l'horizontale sur chaque ligne, puis passer, sur cette même arborescence, d'une ligne à la suivante pour se poser une nouvelle série de questions.

Le schéma qui suit recense les étapes par lesquelles sera passé le concepteur avant d'arrêter le choix de l'actionneur qu'il aura retenu.



4.3. Choix d'un capteur

Là encore, le schéma qui suit donne, sous la forme d'une arborescence, une classification des capteurs utilisables pour produire, à partir d'une grandeur physique détectée dans la partie opérative, une *image informationnelle* exploitable par la partie commande d'un système automatisé.



Contrairement aux arborescences utilisées pour choisir un actionneur, on a ici recours, pour choisir un capteur, à une arborescence qui ne regroupe pas *a priori* des capteurs du même type. L'arborescence est conçue pour aider le concepteur à trouver aussi bien de quoi *Détecter une information logique* (à gauche de la première ligne), que de quoi *Mesurer une grandeur analogique* (à droite de la première ligne) ou plus (autre fonctionnalité non énoncée et suggérée les pointillés prolongeant horizontalement la même ligne).

Pour des raisons évidentes de commodité de faisabilité et de lisibilité du schéma, seule est développée dans l'arborescence la recherche d'un capteur pour *Détecter une information logique*. On voit clairement comment, descendant de ligne en ligne sur l'arborescence, le concepteur ne peut éluder aucune des questions auxquelles il lui faut répondre pour maximiser la pertinence du capteur qu'au bout du compte il aura choisi.

Conclusion

Au clair sur des concepts aussi fondamentaux que l'*action*, l'*information* et la *décision*, nous avons pu, dans ce chapitre, produire une définition précise de tout système automatisé ; qu'il s'agisse d'un système dédié à ce qui nous intéresse ici : la fabrication de produits en milieu industriel ; ou qu'il s'agisse, du reste, de tout autre système conçu et mis en œuvre pour exécuter automatiquement tout autre opération au caractère pas nécessairement industriel.

Forts de ces concepts suffisamment « durcis » et d'une définition consolidée d'un système automatisé, nous avons consacré la suite du chapitre à la conception des deux composantes majeures du système : sa partie commande et sa partie opérative. On a vu que selon que l'on traite de l'une ou de l'autre de ces deux conceptions, on ne se situe pas au même niveau de rationalité.

La conception de la partie commande bénéficie de modes largement codifiés et normalisés de représentation, alors que la conception de la partie opérative est tributaire de l'exhaustivité des arborescences dont elle peut bénéficier. Mais n'en demeurent pas moins, s'agissant toujours de la partie opérative, les fameux trois principes énoncés précédemment dont le concepteur ne tardera pas à comprendre qu'il n'a aucun intérêt à en faire ... l'économie ; quand bien même il ne s'agit que de principes et pas d'une méthodologie formalisée et encore moins normalisée.
