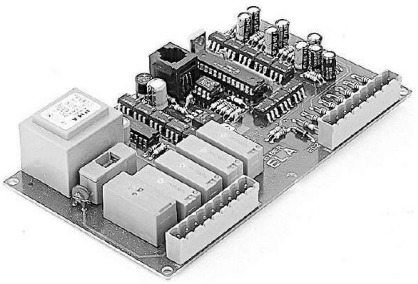
Systèmes à événements discrets

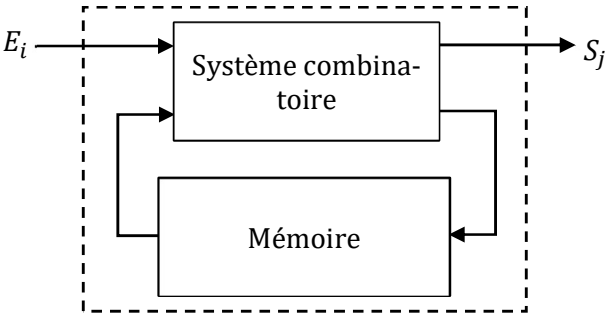
Chronogrammes, diagrammes d'états, algorigramme

Compétences
Analyser
- Analyser un système d'un point de vue structurel et comportemental
- Situer le système dans son environnement en phase d'usage
- Définir les phases principales de vie du système
Modéliser
- Traduire le comportement d'un système à évènement discret.



Un système logique est dit **séquentiel** si les sorties S_j ne dépendent pas uniquement des E_i mais également de l'évolution antérieure du système.

- La même cause peut produire des effets différents : une même combinaison des variables d'entrée ne donne pas toujours la même sortie.
- Un effet peut rester maintenu alors même que sa cause a disparu : il y a mémorisation.



On différentie les systèmes à événement discret, ou systèmes à logique séquentielle, des systèmes à logique combinatoire. Ces derniers sont caractérisés par le fait qu'une entrée, ou une combinaison d'entrée, engendre invariablement la même sortie. Il n'y a pas de notion de mémoire.

La description du comportement d'un système séquentiel peut être réalisée notamment par :

- Le **diagramme d'états** de SysML (State Machine) ;
- L'outil **algorithme** (ou algorigramme).

Il s'agit essentiellement d'outils graphiques permettant de modéliser le comportement séquentiel en termes de déroulement d'actions temporelles. Ces outils sont, à la base, des outils de modélisation du comportement séquentiel, mais peuvent aussi servir à la programmation des composants réalisant la fonction **TRAITER** de la chaîne d'information (microcontrôleur, microprocesseur, automate programmable, …).

Quel que soit l'outil adopté pour modéliser le comportement séquentiel d'un système, il existe souvent plusieurs solutions. La solution la plus simple qui respecte l'ensemble des contraintes est donc à privilégier. C'est le rôle de l'ingénieur de choisir le "bon" outil de description, et la "meilleure solution".

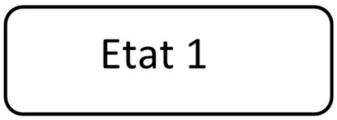
1. Diagrammes d'états

1.1. Constitution

1.1.1. Etat

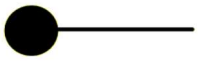
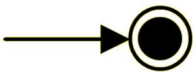
Dans un diagramme d'états, la loi d'évolution des états n'est évidemment pas aléatoire. Cette loi est choisie par le créateur du graphe afin que celui-ci remplisse la fonction précise.

Chaque état est dessiné sous la forme d'un rectangle aux coins arrondis, contenant son nom.



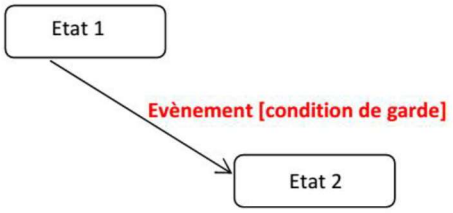
Un état représente une période de la vie du système. Pendant cette période, le système accomplit une ou plusieurs actions, ou attend un évènement. Il peut être actif ou non ; plusieurs états peuvent être actifs en même temps dans le même système.

On distingue également :

Etat initial : pseudo-état qui indique un point d'entrée dans un graphe. 	**Etat final** : non obligatoire, il indique que le système décrit n'a plus d'état actif. 

1.1.2. Transition, évènement et condition de garde

Une transition représente le passage instantané d'un état vers un autre. Une transition ne peut donc pas avoir de durée. On appelle état source l'état de départ d'une transition et état **destination** l'état **d'arrivée**.



Une transition n'est évaluée que si **l'état source** est **actif**.

Une transition est déclenchée par un **évènement**. En d'autres termes : c'est l'arrivée d'un évènement qui conditionne le franchissement de la transition.

Une transition peut aussi être automatique, lorsqu'on ne spécifie pas l'évènement qui la déclenche.

En plus de spécifier un évènement précis, il est aussi possible de conditionner une transition, à l'aide d'une "**condition de garde**" : il s'agit d'une **expression booléenne** encadrée de crochets, évaluée lorsque l'état précédant la transition est vrai et que l'évènement déclencheur se produit. Si la condition de garde est vraie, la transition est alors franchie, sinon elle ne l'est pas et l'événement est perdu.

Remarque : différence entre évènement et condition de garde :

- un **événement** est parfaitement daté dans le temps, il correspond par exemple à un passage d'une variable de 0 à 1 à un instant précis (front montant) ;

  Exemple d'évènement : appui sur un bouton-poussoir, capteur fin de course atteint, etc.

- une **condition de garde** n'est pas datée, elle doit être vraie (niveau logique 1) à l'instant où l'événement survient pour que la transition soit franchie.

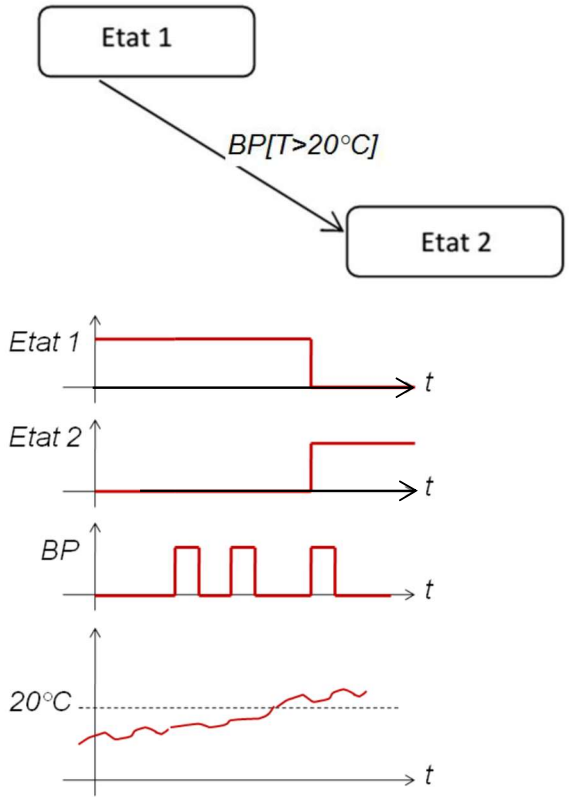
  Exemple de condition de garde : vitesse du véhicule non nulle, température>20°C, etc.

Il existe 3 sortes d'évènements :

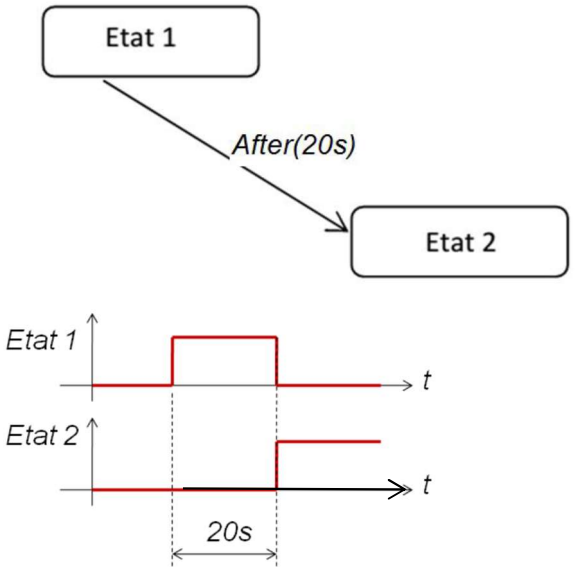
- **évènement signal** : un signal est émis à destination d'un objet ; cette émission est asynchrone, c'est-à-dire que le destinataire ne l'attend pas, et qu'elle peut survenir n'importe quand.
  Exemple : l'appui sur un bouton-poussoir.
- **évènement temporisé** : un évènement de ce type fait intervenir le temps. Il nécessite l'utilisation des mots réservés **at(date)** pour spécifier un temps absolu, ou **after(durée)** pour spécifier une durée à partir de l'instant d'activation de l'état précédent.
- **évènement de changement** : une valeur a changé de telle sorte que la transition est franchie : **when[valeur = 5]**.

Exemples :

Evènement et condition de garde

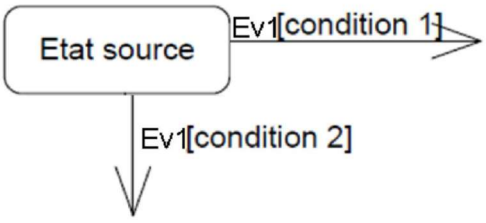


Evènement temporisé



1.1.3. Transition conditionnelle

Plusieurs transitions peuvent quitter un même état. **Une seule d'entre elles doit être déclenchée ; les événements et/ou les conditions de garde doivent donc être exclusives.**

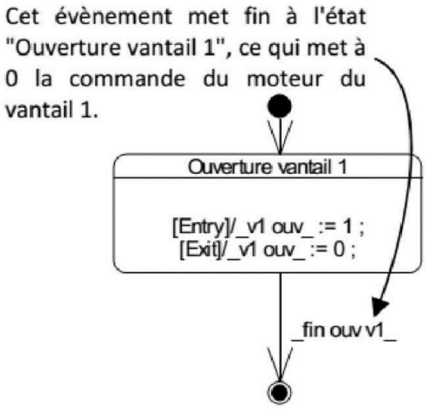


1.1.4. Actions

Le lancement des actions à l'intérieur de l'état actif est organisé selon des mots réservés :

- **entry**/ est suivi des actions exécutées lorsque l'état devient actif ;
- **do**/ est suivi d'une ou plusieurs actions exécutées dans l'ordre de leur écriture, à partir de l'instant où l'activité /entry est terminée ;
- **exit**/ est suivi des actions qui de déroulent lorsque l'état se désactive ;

Pendant que l'état est actif, un évènement peut lancer une action avec la syntaxe : évènement/suivi de l'action. Cette action est lancée chaque fois que l'évènement survient, tant que l'état est actif.



Remarques :

- On peut aussi ne pas utiliser de mot réservé, auquel cas cela correspond à un do/.
- Un état peut ne pas contenir d'action. Il sert alors à attendre le déclenchement de la transition suivante.

Une action peut être :

- un ordre de mise à 1 d'une sortie ; la syntaxe est alors **SORTIE := 1** ;
- un ordre de mise à 0 d'une sortie ; la syntaxe est alors **SORTIE := 0** ;
- une modification d'une variable numérique interne, par exemple un compteur C ; la syntaxe est alors **C := C + 1** ; pour incrémenter la valeur du compteur C de 1.

1.1.5. Entrées/Sorties

Les **informations en entrée** vont intervenir dans les **transitions** du diagramme d'états.

Les **ordres de commande en sortie** vont intervenir dans les **actions lancées dans les états actifs**.

1.1.6. Exemple 1 : Lave-linge

On peut ici commencer par déterminer les états : **Prélavage, Lavage, Rinçage, Essorage** et bien sûr, **Arrêt**.

On complète le graphe en plaçant des transitions entre les états, pour indiquer la loi d'évolution des états en fonction des entrées. On se sert pour cela du comportement séquentiel souhaité ou observé.

Les variables d'entrée sont ici les informations suivantes :

- **m** : bouton marche/arrêt du lave-linge ; m = 1 indique marche.
- **p** : bouton qui indique si le programme du lavage sélectionné par l'utilisateur comporte ou non une phase de prélavage.

Les durées des différentes étapes du lavage sont fixées par le constructeur :

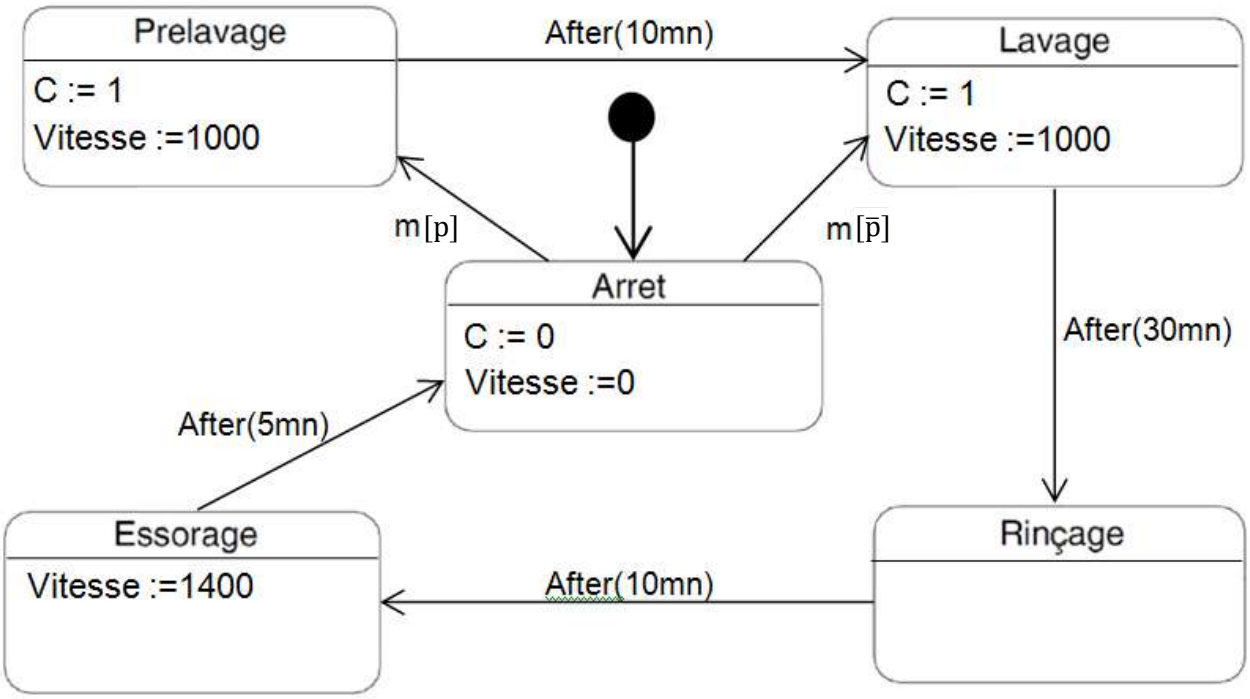
- prélavage : 10 minutes ;
- lavage : 30 minutes ;
- rinçage : 10 minutes ;
- essorage : 5 minutes.

Avec ces données, on peut compléter le diagramme des états avec les transitions et les événements déclencheurs.

Il reste ensuite à définir les variables de sorties, pour lancer les actions :

- **C** : égale à 1 si le moteur doit tourner, sinon 0 ;
- **Vitesse** : égale à 0 à l'arrêt ; 1 000 tr/min en prélavage, en lavage et en rinçage ; 1 400 tr/min en essorage.

On obtient le graphe suivant :



1.1.7. Exemple 2 : porte de garage

<u>Fonctionnement souhaité :</u>

Une porte de garage basculante est mise en mouvement par un moteur à 2 sens de rotation : **Ouvrir** ou **Fermer**.

Un capteur **buté** détecte une surintensité moteur, qui correspond à l'atteinte d'une position en butée de la porte : ouverte ou fermée. Une télécommande possède 1 bouton **tel** dont l'appui produit le fonctionnement suivant :

- **Ouvrir** si la porte est fermée ;

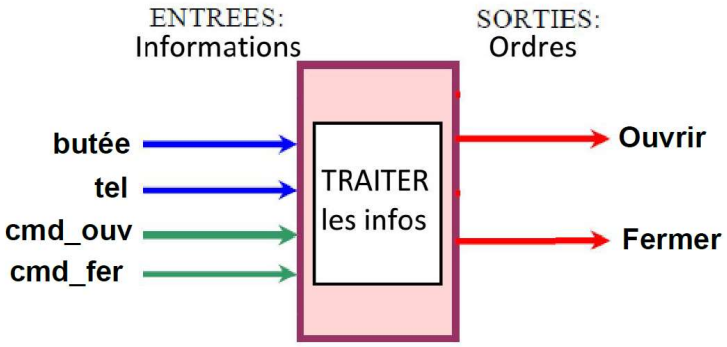
- **Fermer** si elle est ouverte ;

- inverser le sens si la porte est en mouvement.

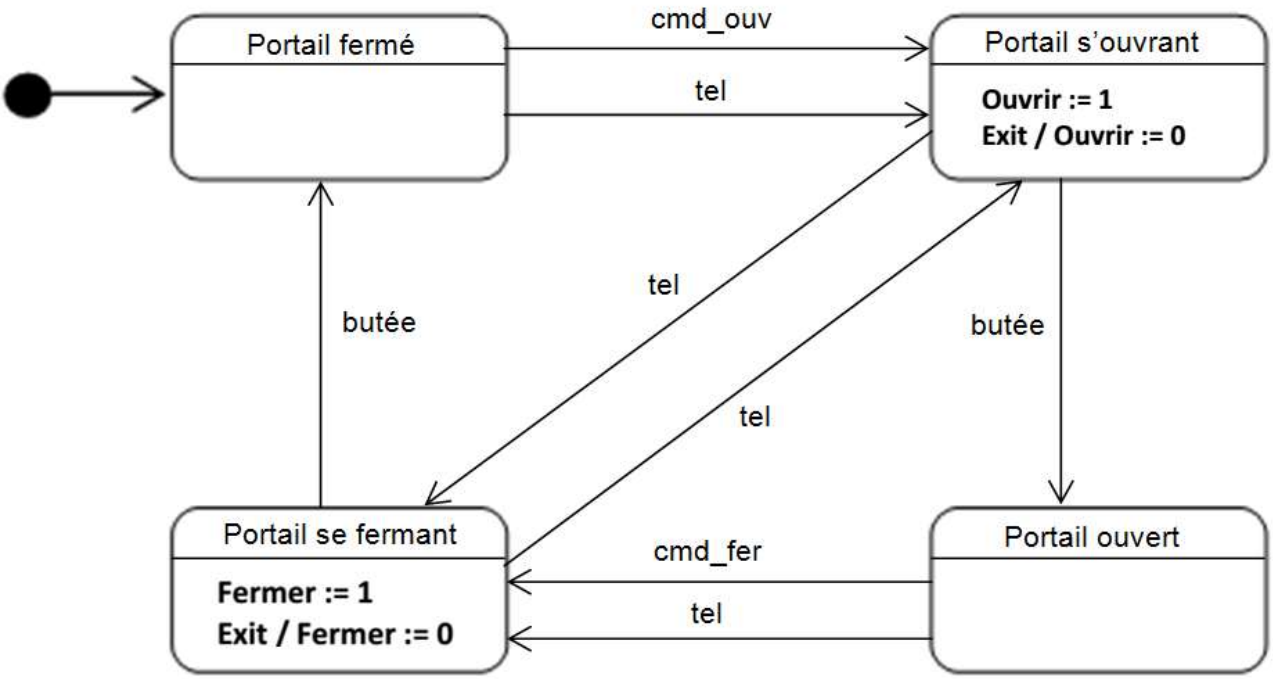
Enfin, un boîtier de commande mural dans le garage possède 2 boutons poussoirs **cmd_ouv** et **cmd_fer**.

On suppose qu'à la mise sous tension, la porte est en position fermée.

<u>Liste des entrées-sorties :</u>



Proposition de diagramme d'états :



1.2. Synchronisation et hiérarchisation des états

1.2.1. Etat composite

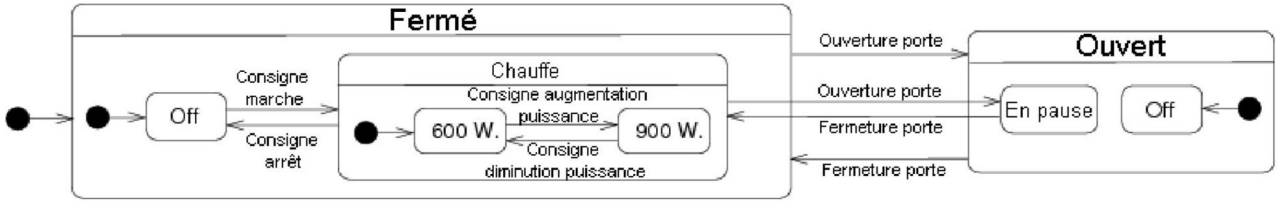
Lorsque le comportement à décrire risque d'être peu lisible car trop complexe ou fait apparaître des parties "séparables" de l'ensemble, alors on extrait ces parties pour en faire des sous-graphes séparés, hiérarchiquement inférieurs au graphe principal.

On englobe ces sous-graphes dans un état appelé "**état composite**" ou "**super-état**".

Un état composite est composé de plusieurs sous-états internes. Un état composite possède un état initial.

Exemple :

Comportement d'un four micro-ondes

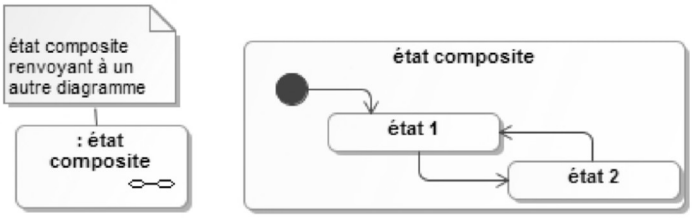


- Il y a 2 états composites "Fermé" et "Ouvert". L'état composite "Fermé" contient lui-même un sous-état composite "Chauffe". Il contient lui-même un sous-graphe formé de 2 sous-états "600 W" et "900 W".
- Il peut y avoir des transitions ayant pour source/cible la frontière d'un sous-état ou la frontière d'un état composite.
- Quand plusieurs transitions sont possibles, on choisit de suivre celle qui part de l'état le plus en bas de la hiérarchie des états actifs, donc ici partant de "Chauffe" et non pas de "Fermé".

Autrement dit :

- si l'état actif est "Chauffe" quand on ouvre la porte, l'état "En pause" s'active ;
- si l'état actif est "Off" contenu dans "Fermé" quand on ouvre la porte, l'état "Ouvert" s'active et donc l'état "Off" qu'il contient.

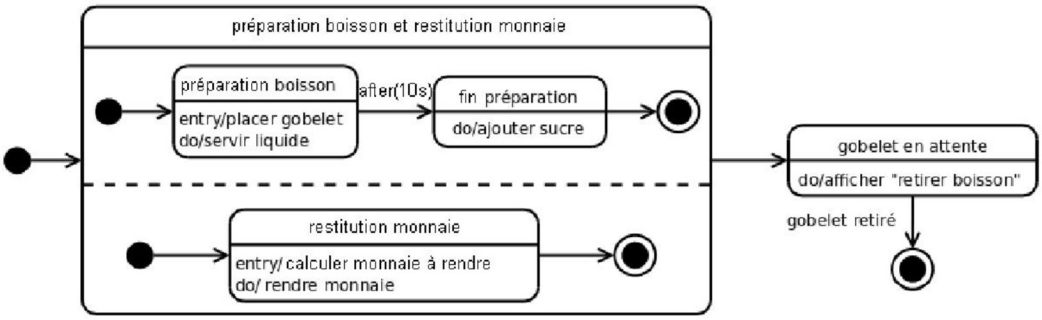
Il existe une notation abrégée pour un état composite :



1.2.2. Concurrence

Dans un état composite, plusieurs graphes d'états peuvent évoluer simultanément (en parallèle). On dit qu'il y a concurrence de plusieurs états.

Exemple : distributeur de boissons



L'état composite est dit **orthogonal** car il comporte **plus d'une région**, chaque région représentant un flot d'exécution. Graphiquement, dans un état orthogonal, les différentes régions sont séparées par un trait horizontal ou vertical en pointillés allant d'un bord à l'autre de l'état composite.

Chaque région peut posséder un état initial et final. Une transition qui atteint la bordure d'un état composite orthogonal est équivalente à une transition qui atteint les états initiaux de toutes ses régions concurrentes.

Toutes les régions concurrentes d'un état composite orthogonal doivent atteindre leur état final pour que l'état composite soit considéré comme terminé.

La synchronisation est alors automatique et la transition de sortie de l'état composite est déclenchée.

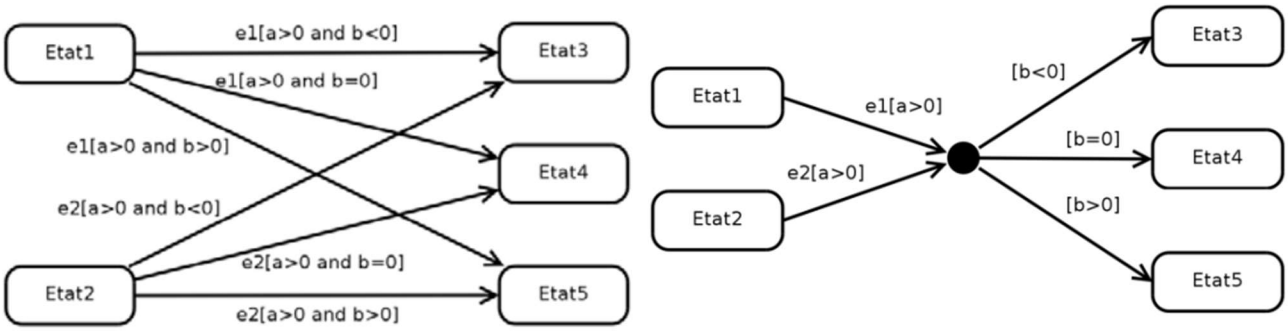
1.2.3. Les pseudo-états

Un pseudo état un élément de commande qui influence le comportement d'une machine d'état mais qui n'a pas d'activité.

- Jonction ●

Ce pseudo-état sert à regrouper (factoriser) des conditions.

Exemple :

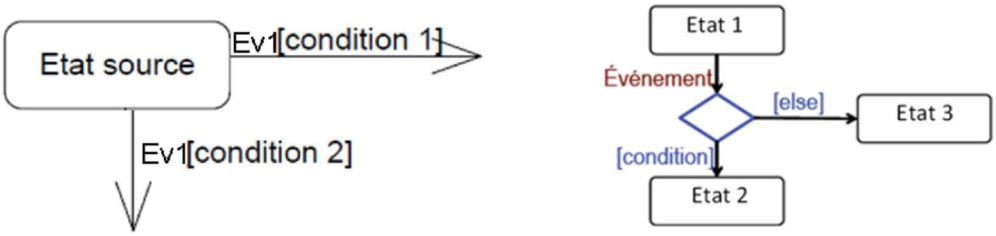


L'état actif passe de l'état 1 à l'état 3 si l'événement e1 survient et que les conditions de gardes a>0 et b<0 sont vérifiées.

- Décision ◇

Il s'agit d'une décision sur une condition. Les conditions de gardes doivent êtres exclusives.

Ce pseudo-état est assez équivalent à la transition conditionnelle



Remarque : Par définition, les états initiaux et finaux sont des pseudo-états.

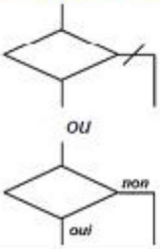
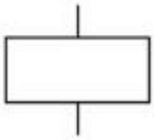
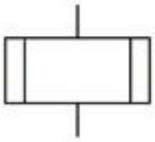
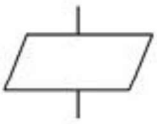
2. Algorigramme

2.1. Définitions

Algorithme : c'est l'ensemble de règles opératoires ordonnant à un processeur d'exécuter dans un ordre déterminé un nombre d'opérations élémentaires.

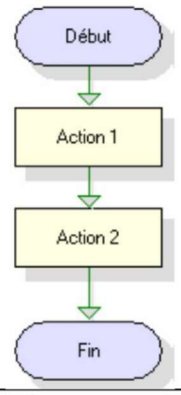
Algorigramme : c'est une représentation graphique de l'algorithme utilisant des symboles normalisés.

2.2. Constitution d'un algorigramme

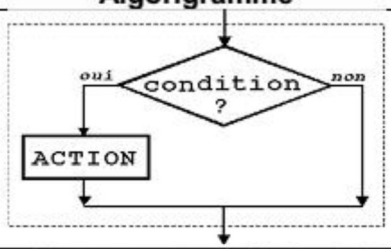
SYMBOLE	DÉSIGNATION	SYMBOLE	DÉSIGNATION
	**début** ou **fin** d'un algorithme		**Test ou Branchement conditionnel** décision d'un choix parmi d'autres en fonction des conditions
	symbole général de **« traitement »** opération sur des données, instructions, … ou opération pour laquelle il n'existe aucun symbole normalisé		**sous-programme** appel d'un sous-programme
	**entrée / sortie**		**Liaison** Les différents symboles sont reliés entre eux par des lignes de liaison. Le cheminement va de haut en bas et de gauche à droite. Un cheminement différent est indiqué à l'aide d'une flèche
	**commentaire**		

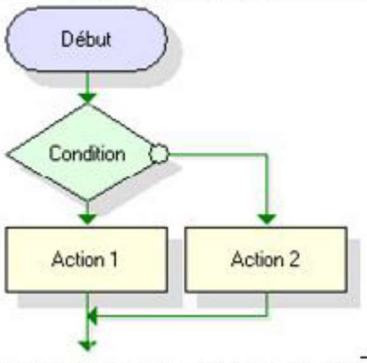
2.3. Structure de base d'un algorigramme/algorithme

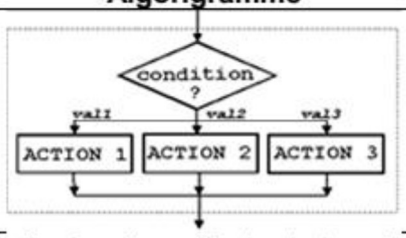
2.3.1. Structure linéaire (appelée aussi structure unique)

Algorigramme	Algorithme
	**Début** Action 1 Action 2 **Fin**
On exécute successivement une suite d'action dans l'ordre de leur énoncé.	

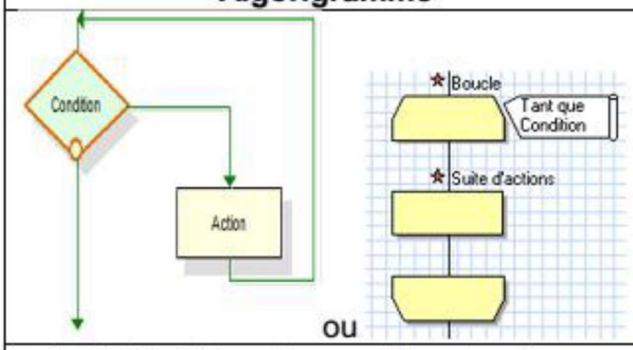
2.3.2. Structure alternative

Algorigramme	Algorithme
	**Si** Condition **Alors** Action **FinSi**
Cette structure offre le choix de réaliser ou non une séquence d'actions.	

Algorigramme	Algorithme
	**Début** **Si** Condition **Alors** Action 1 **Sinon** Action 2 **FinSi** **Fin**
Cette structure offre le choix entre deux séquences s'excluant mutuellement.	

Algorigramme	Algorithme
	**Cas Ou** Condition = val1 **Faire** Action1 Condition = val2 **Faire** Action2 Condition = val3 **Faire** Action3 … **FinCasOu**
Cette structure offre le choix entre plusieurs séquences s'excluant mutuellement.	

2.3.3. Structure itérative

Algorigramme	Algorithme
	**Tant que** Condition vraie Faire **Action** **FinTantQue**
On teste d'abord la condition, la séquence est exécutée tant que la condition est vraie.	

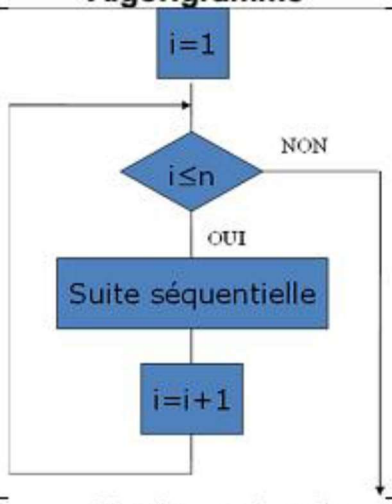
La structure Tant que Faire est très utilisée, notamment lorsque l'on veut faire une boucle infinie. On écrit alors :

Tant que 1

Faire Suite d'actions

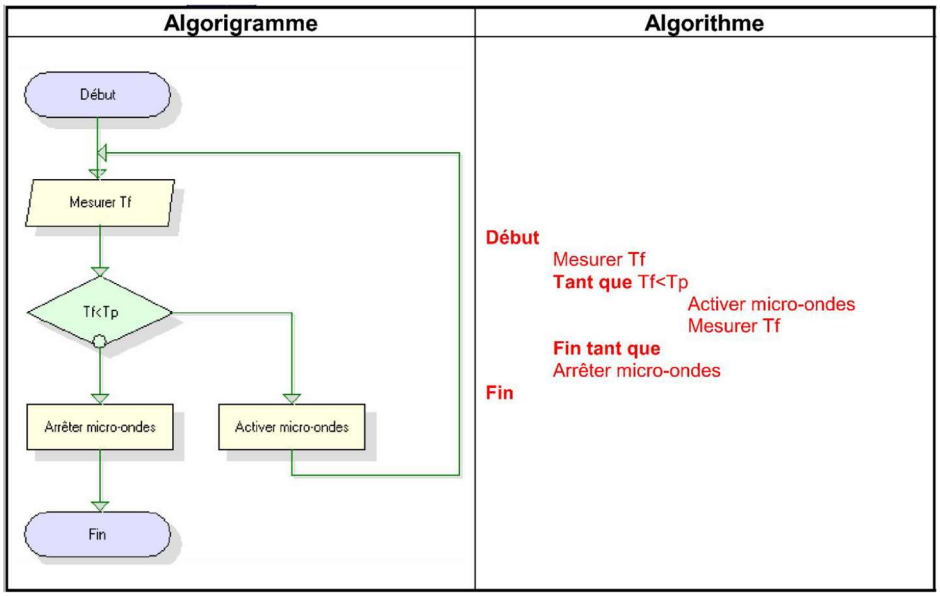
Fin Tant Que

2.3.4. Structure à reprise de séquence

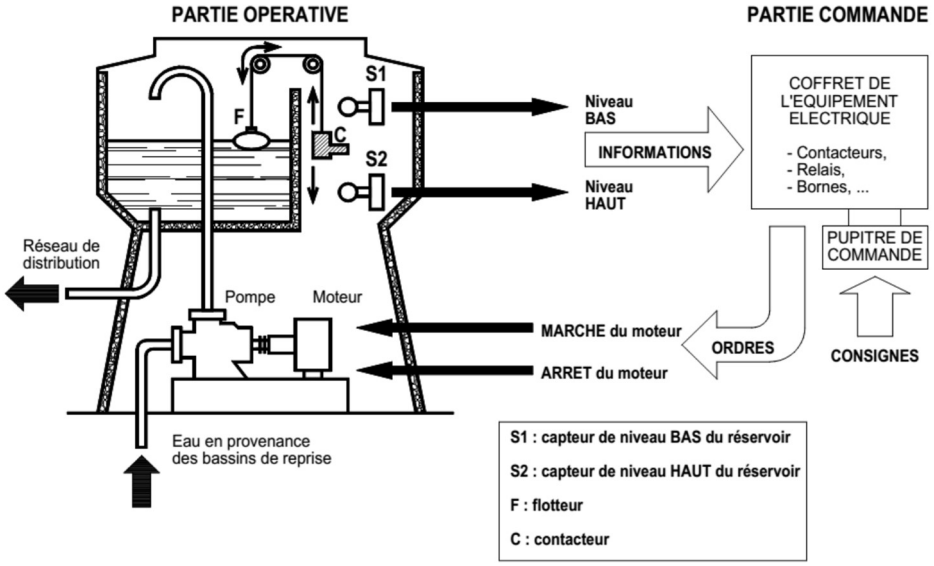
Algorigramme	Algorithme
	**Pour** i **allant** de 1 **à** n **avec pas de** 1 **Faire** Suite séquentielle **FinPour**
L'action ou la suite d'actions est exécutée exactement *n* fois.	

2.4. Exemple : four à micro-ondes

Un four à micro-ondes fonctionne pendant un temps **Tf**, jusqu'à ce que **Tf** atteigne le temps **Tp** programmé par l'utilisateur.



2.5. Applications : fonctionnement d'un château d'eau



Après une mise en service de l'installation, le système fonctionne automatiquement de la façon suivante :

1) Le moteur actionne la pompe pour aspirer l'eau en provenance des bassins de reprise. Le réservoir du château d'eau se remplit. Le flotteur F se déplace vers le haut en suivant le niveau d'eau dans le réservoir. Le contacteur C relié au flotteur se déplace vers le bas.

2) Dès que le niveau haut du réservoir est atteint, le contacteur C bute contre le capteur de niveau haut S2 qui envoie une information à la partie commande.

3) La partie commande envoie un ordre à la partie opérative entraînant l'arrêt du moteur et de la pompe. Le pompage de l'eau s'arrête.

Remarque : les usagers utilisant l'eau pour leur besoin, le niveau d'eau diminue dans le réservoir.

4) La pompe n'étant plus en action et les usagers utilisant l'eau, le réservoir se vide. Le flotteur F se déplace vers le bas en suivant le niveau d'eau dans le réservoir. Le contacteur C entraîné par le flotteur se déplace vers le haut.

5) Dès que le niveau bas du réservoir est atteint, le contacteur C bute contre le capteur de niveau bas S1 qui envoie une information à la partie commande.

6) La partie commande envoie un ordre à la partie opérative entraînant la mise en marche du moteur et de la pompe. Le réservoir se remplit et le cycle recommence.

Question : Établir l'algorigramme correspondant à ce fonctionnement.