

Chapitre 5

Le GEMMA

Le GEMMA est le second outil méthode créé par l'AF CET (Association Française pour la Cybernétique Économique et Technique). Le mot GEMMA est l'acronyme de *Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts*. Le GEMMA envisage les cas de fonctionnement autres que le fonctionnement normal analysé lors des GRAFCET de niveaux 1 et 2.

1 Pourquoi le GEMMA

Le GEMMA est un guide graphique permettant de sélectionner et de décrire simplement les différents états de marche et d'arrêt, ainsi que les possibilités d'évoluer d'un état à un autre. Il a été créé parce qu'il y avait un grand besoin d'avoir un vocabulaire commun et précis. Le GEMMA permet d'avoir une approche guidée de l'analyse des modes de marches et d'arrêts.

Le GEMMA permet le recensement et la description des différents états du système automatisé, de la mise en route à la production normale. Il précise les procédures à mettre en œuvre après analyse d'une anomalie ou un défaut de fonctionnement.

Pour une machine donnée, les modes de marches et d'arrêts doivent être choisis et compris de toutes les personnes chargées d'intervenir.

Un GEMMA est établi pour chaque machine lors de sa conception, puis utilisé tout au long de sa vie : réalisation, mise au point, maintenance, modifications, réglages...

Dans ses principes et dans sa mise en œuvre, le GEMMA doit donc être connu de toutes les personnes concernées par les automatismes, depuis leur conception jusqu'à leur exploitation.

Une feuille de GEMMA est montrée à la page suivante.

2 Les concepts de base du GEMMA

2.1 Concept #1

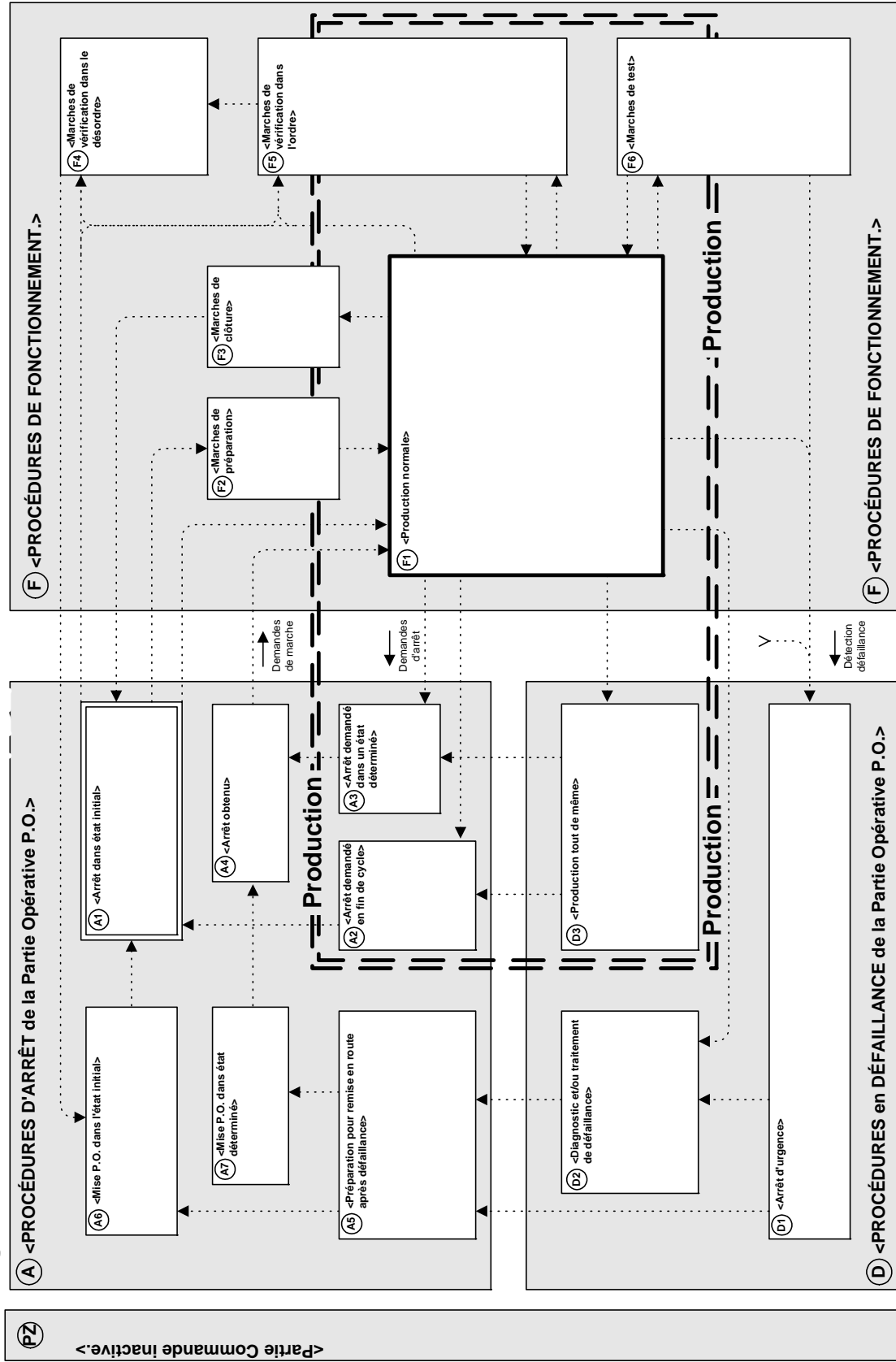
Le premier concept du GEMMA, c'est que :

« Les procédures de marches et d'arrêts ainsi que les procédures en défaillances sont vues par une Partie Commande en ordre de marche. »

Tous les modes (ou procédures) de marches, d'arrêts et de défaillance concernent l'ensemble de l'automatisme (Partie Opérative et Partie Commande). Pour que la Partie Commande puisse prendre les décisions adéquates, elle doit être en énergie et ses organes (capteurs et actionneurs) alimentés. La Partie Opérative peut être dans un état quelconque (en marche, en arrêt, en défaillance, hors ou en énergie, ...).

Il est important de noter que dans le cas où la Partie Commande est constituée d'un automate programmable, le fait qu'elle soit en énergie n'est pas une condition suffisante pour considérer qu'elle sera en mesure de prendre des décisions adéquates. Donc pour un automate programmable, il faut qu'il soit en énergie et qu'il soit actif (mode « RUN ») pour qu'il exécute son programme et soit considéré en ordre de marche.

Référence de l'équipement: _____



Cela entraîne une première division du GEMMA montrée en figure ci-dessous :

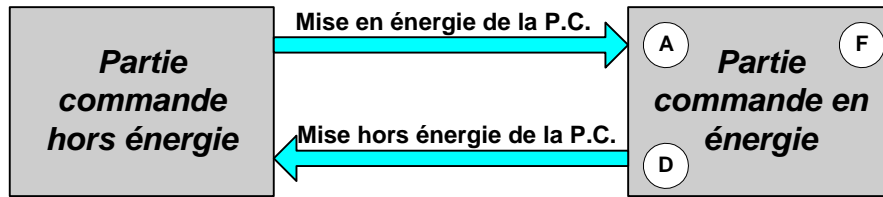


Figure 5-1 : Première division du GEMMA.

Dans le cas d'un automate, on pourrait refaire le schéma comme suit puisqu'il faut vérifier l'activité plutôt que l'énergie avec un automate:

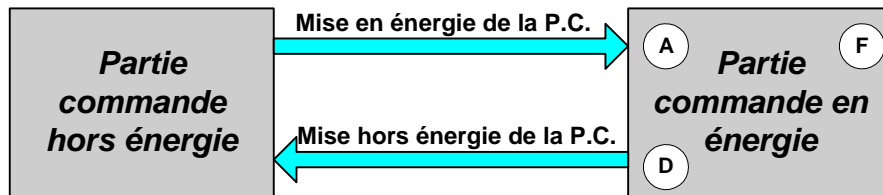


Figure 5-2 : Première division du GEMMA dans le cas des automates programmables.

2.2 Concept #2 - le critère « production »

Le second concept du GEMMA, s'écrit comme suit :

« Le but d'un système automatisé, c'est de produire une valeur ajoutée : Produit entrant → PRODUCTION → Produit sortant avec valeur ajoutée »

La production normale est la justification principale de l'automatisme. La production revêt diverses formes :

- Modification des produits (usinage, mise en forme, peinture, moulage, collage, etc.) ;
- Étiquetage ;
- Contrôle de qualité ;
- Manutention ;
- Stockage, etc.

Cela entraîne une seconde division du GEMMA montrée à la figure 5-3. Le système est « en production » si l'automatisme ajoute une valeur au produit, sinon il est « hors production ».

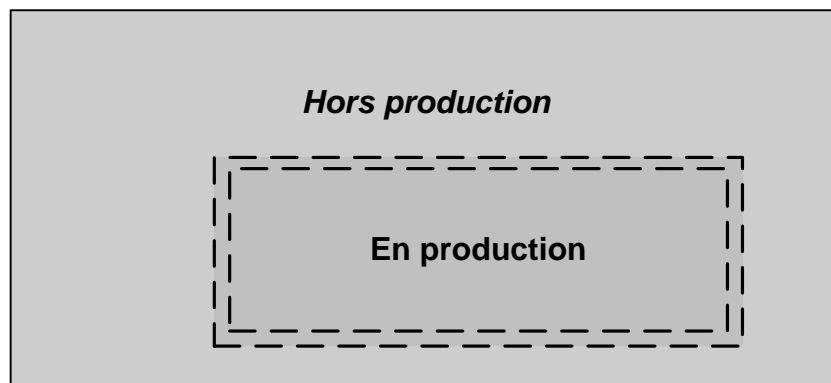


Figure 5-3 : Seconde division du GEMMA.

2.3 Concept #3 - les trois familles de procédures

Le troisième concept du GEMMA, c'est qu'il y a trois grandes familles de modes de marches et d'arrêts. Ces trois familles sont :

- Famille « F » - procédures de fonctionnement ;
- Famille « A » - procédures d'arrêt ;
- Famille « D » - procédures de défaillances.

Cela entraîne une troisième division du GEMMA montrée à la figure suivante :

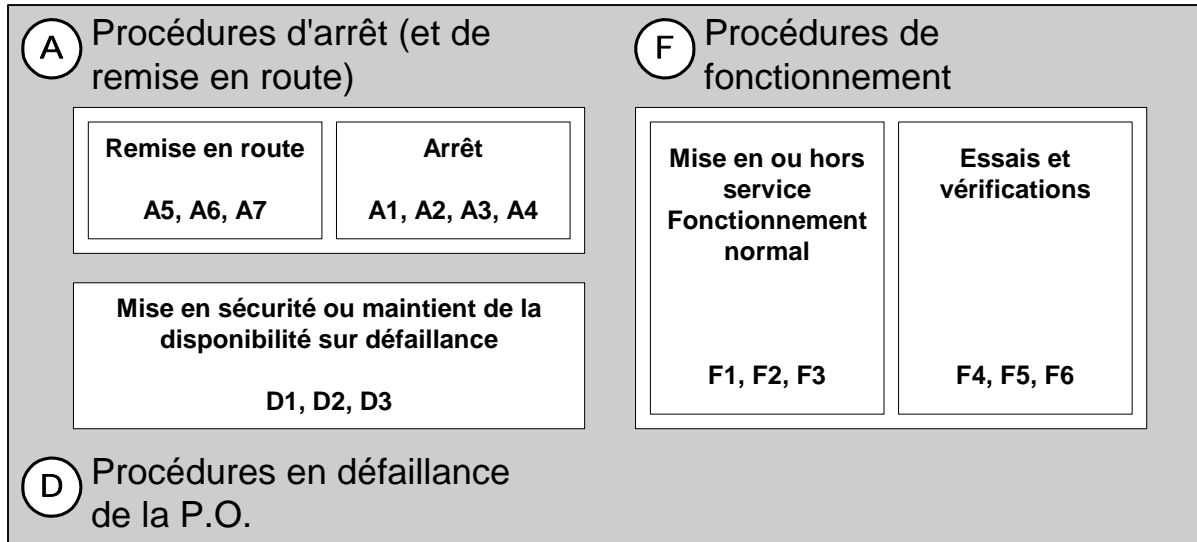


Figure 5-4 : Troisième division du GEMMA.

La Famille « F »

La famille « F » des procédures de fonctionnement concerne tous les modes qui permettent ou aident à obtenir la valeur ajoutée. On ne produit pas dans tous les modes de cette famille.

Certains modes de la famille « F » sont nécessaires pour préparer l'automatisme avant de commencer à produire. Sans ces modes, impossible de produire correctement. D'autres modes sont nécessaires pour faire des tests, des vérifications, de la maintenance. Sans ces modes, la valeur ajoutée risque de se dégrader avec le temps. Une machine mal entretenue risque de tomber en panne ou de produire avec une qualité réduite.

La Famille « A »

La famille « A » des procédures d'arrêt concerne tous les modes ou états qui conduisent à un arrêt de l'automatisme pour des raisons extérieures. Ce peut être un arrêt volontaire à partir du panneau de commande parce que la période de travail est terminée (pause, fin de la journée, fin de semaine, vacances). Ce peut être un arrêt en fin de lot. Ce peut aussi être un arrêt par manque de matière première. C'est donc un « arrêt normal ».

Cette famille correspond aussi à certains modes de remise en route de l'automatisme. L'automatisme peut exiger d'être nettoyé suite à un incident. Il exige aussi, à l'occasion, une remise en condition initiale de tous ses actionneurs.

La Famille « D »

La famille « D » des procédures de défaillance concerne tous les modes ou états conduisant à ou traduisant un arrêt du système pour des raisons intérieures. Il est très rare qu'une machine ne tombe pas en panne pendant sa vie. Comme le dit la célèbre loi de Murphy : « If anything can go wrong, it will! »

Il faut donc préparer l'automatisme à ces défaillances souvent imprévisibles par l'ajout de capteurs et de boutons d'arrêt d'urgence. L'arrêt doit être immédiat. Si nécessaire, des procédures limitant les conséquences doivent être immédiatement exécutés pour protéger le personnel et le matériel.

3 Les rectangles états

Chacun des différents états ou modes dans lequel peut être un automatisme est représenté par un rectangle état. La figure suivante montre le détail de l'un de ces rectangles états :

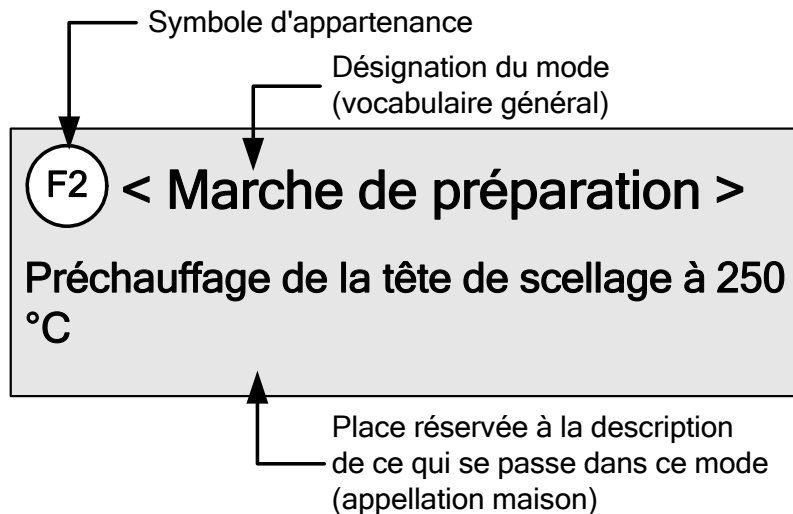


Figure 5-5 : Éléments d'un rectangle état.

Chaque rectangle état appartient à une des trois familles « A », « F » ou « D ». Le symbole d'appartenance commence par une lettre identifiant la famille à laquelle appartient le rectangle état. Un rectangle état est identifié par un « titre » désignant le mode selon le vocabulaire général accepté par l'AF CET. Dans le rectangle état, il est inscrit par l'utilisateur (dans la place réservée) une description claire de ce qui se passe dans ce mode. Toute précision jugée nécessaire doit y être inscrite. On y indique aussi l'appellation « maison » utilisée pour identifier ce mode. Si le rectangle état n'est pas assez gros pour y inscrire tous les détails, on devrait le décrire sur des pages en annexe auquel le rectangle état devra faire référence. Enfin, si un rectangle état n'est pas utilisé, il doit être barré par un « X ».

Les rectangles états sont reliés entre eux par des lignes pointillées indiquant les évolutions les plus probables. Les évolutions retenues seront représentées par des traits forts continus tracés par l'utilisateur. Une condition d'évolution sera alors ajoutée près de ce trait.

Seul un rectangle état est actif dans un GEMMA. Ce principe dit « d'unicité de mode » est imposé et est fort logique. Il est impossible qu'une machine soit en production normale et en arrêt en même temps. Il faut choisir, où la machine produit, où la machine est arrêtée.

Chacun des seize rectangles états sera décrit dans ce qui suit.

3.1 Les rectangles états de la famille « F » : Procédures de fonctionnement

F1 - Production normale

Ce rectangle état est obligatoire dans tout GEMMA puisque la production normale est le but essentiel de tout automatisme. Il correspond au GRAFCET de niveau 2 (GRAFCET de base) sans étapes initiales (qui correspondent au rectangle état A1). Il est d'ailleurs mis en évidence dans le GEMMA puisque le rectangle état est tracé avec un trait large.

Ce rectangle état correspond souvent à un mode identifié « *mode AUTOMATIQUE* ». Pour y accéder à partir de l'arrêt en condition initiale (A1), il faut que le mode automatique soit sélectionné et que l'opérateur appui sur un bouton poussoir nommé « *DCY* », abréviation pour « *départ de cycle* ». Il faut aussi que la machine soit en condition initiale. Si nécessaire, certaines préparations doivent être faites avant l'entrée en production.

Donc de l'arrêt en condition initiale, il est possible d'évoluer vers la production normale selon les deux séquences suivantes :

A1 → F1 : Démarrage sans marche de préparation ;

A1 → F2 → F1 : Démarrage avec marche de préparation.

F2 - Marches de préparation

Ce rectangle état est utilisé lorsque l'automatisme exige certaines préparations avant de passer en production normale. Ces préparations peuvent être faites automatiquement ou manuellement. Pendant cette phase de préparation, il peut y avoir production ou non, ce qui explique que ce rectangle état chevauche la frontière entre la zone « en production » et la zone « hors production ».

Par exemple, si l'automatisme est une unité de scellage, il faut préchauffer la tête de scellage à une température adéquate avant d'entrer en production. Pendant le préchauffage la machine n'est pas en mesure de produire.

Dans une marche de préparation, il est possible que les opérations à faire soient manuelles. Ainsi, on peut demander à l'opérateur de remplir les bols vibrants avec une certaine quantité de pièces. Le GEMMA agit alors à titre d'aide mémoire pour l'opérateur (ou pour celui qui aura à rédiger les directives d'utilisation de la machine).

Le remplissage d'un convoyeur et la mise en marche progressive des postes d'une machine est une marche de préparation dans laquelle il y a production. L'exemple de la machine à remplir et à boucher montrera plus loin ce qu'il en est.

F3 - Marches de clôture

Lorsque la machine exige de faire certaines opérations (en plus de la fin de cycle normal) pour retourner en condition initiale, il faut prévoir une marche dite de clôture. Cette marche peut être faite automatiquement ou manuellement. Selon les actions à faire, il y a production ou non, ce qui explique que ce rectangle état chevauche la frontière entre la zone « en production » et la zone « hors production ».

Par exemple, on peut prévoir une marche de clôture pour indiquer à l'opérateur de nettoyer la machine. On peut aussi y prévoir la vidange d'un convoyeur et l'arrêt progressif des postes d'une machine (voir machine à remplir et à boucher).

F4 - Marches de vérification dans le désordre

Ce mode souvent appelé « *mode MANUEL* » permet de tester et de vérifier des mouvements ou même des fonctions séparées sans respecter l'ordre des actions du cycle de fonctionnement normal.

Si le mode manuel est utilisé, il faudrait prévoir sur l'automatisme toutes les sécurités nécessaires pour éviter des incidents. Des inter-verrouillages (interlocks) devraient être ajoutés sur les actionneurs présentant des risques de collisions ou de bris. Les inter-verrouillages doivent être câblés.

Le mode manuel est habituellement accessible depuis l'arrêt en état initial (A1) ou de la marche de vérification dans l'ordre (F5). Les deux évolutions possibles sont donc :

A1 → F4 : Accès au mode MANUEL de l'arrêt en condition initiale ;

A1 → F2 → F1 : Accès au mode MANUEL depuis la marche de vérification dans l'ordre.

Le mode manuel ne devrait pas être accessible directement du mode automatique. Si ces deux modes sont les seuls d'un automatisme donné, le sélecteur de mode devrait avoir trois positions, la position centrale étant une position neutre.

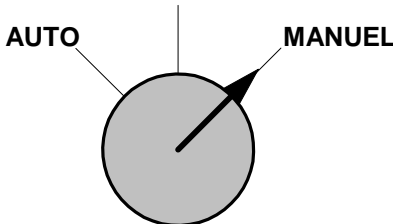


Figure 5-6 : Sélecteur de modes - MANUEL/AUTO.

Du mode manuel, il faut obligatoirement passer par la remise de la machine en condition initiale (A6) avant de retourner à l'arrêt en condition initiale (A1). L'évolution à partir de F4 est : F4 → A6 → A1.

F5 - Marches de vérification dans l'ordre

Ce mode existe pour que le technicien effectuant la mise au point puisse voir le fonctionnement normal du cycle de production à une cadence lente. Dans certaines applications, la machine peut produire pour faciliter la mise au point. Dans d'autres applications, elle peut ne pas produire.

Les modes de marches associées à ce rectangle état sont :

- « mode étape par étape »
 - Accessible si le sélecteur de mode est sur « EE » ;
 - Exécution d'une étape à la fois suite à l'appui sur un bouton poussoir « BPee ».
- « mode séquence par séquence »
 - Accessible si le sélecteur de mode est sur « SS » ;
 - Exécution d'une série d'étapes (séquence) à la fois suite à l'appui sur un bouton poussoir « BPss ».
- « mode cycle par cycle »
 - Accessible si le sélecteur de mode est sur « CC » ;
 - Exécution d'un cycle à la fois suite à l'appui sur un bouton poussoir « BPcc » ;
 - Appelé parfois « mode semi-automatique ».

Ces différents modes sont sujets à certaines variantes qui doivent être spécifiées. Le mode peut s'appliquer sur l'ensemble du système (ex. : mode étape par étape de l'ensemble du système), sur un ou des postes (ex. : mode séquence par séquence, poste par poste), sur une ou des tâches.

Ce mode F5 est habituellement accessible depuis l'arrêt en condition initiale (A1) ou de la production normale (F1). Les deux évolutions possibles sont donc :

A1 → F5 : Accès à la marche de vérif. dans l'ordre à partir de l'arrêt en cond. initiale ;

F1 → F5 : Accès à la marche de vérification dans l'ordre depuis la production normale.

Ce mode peut être abandonné soit pour retourner à l'arrêt en état initial (F5 → A1), soit pour passer au mode automatique (F5 → F1), soit pour le mode manuel (F5 → F4).

F6 - Marches de vérification dans l'ordre

Pour des besoins de maintenance, d'étalonnage et de réglages périodiques, les marches de test sont utiles. En mettant le sélecteur de mode en position « TEST », il est alors possible de calibrer des capteurs de température, de débit. Il est aussi possible d'ajuster des débits, de modifier des paramètres, etc.

3.2 Les rectangles états de la famille « A » : Procédures d'arrêts

A1 - Arrêt dans l'état initial

Ce rectangle état est obligatoire dans tout GEMMA puisque lorsque l'automatisme est arrêté, il est habituellement en condition initiale. Il correspond aux étapes initiales des GRAFCET de niveau 2 (GRAFCET de base). Remarquez le tracé de ce rectangle qui ressemble à celui des étapes initiales d'un GRAFCET.

La Partie Opérative de la machine doit être dans son état initial, tel que définit par les étapes initiales du GRAFCET de niveau 2. Lors de la mise en énergie (ou de l'activation pour un automate) de la Partie Commande, on accède directement à A1 si la condition initiale est remplie, sinon il faudra passer par le rectangle état de mise en condition initiale (A6) au préalable.

Pour indiquer qu'une machine est en condition initiale, on utilise souvent la variable « ci » qui est la résultante d'une équation logique vérifiant que la Partie Opérative est en condition sur le GEMMA, car l'équation logique vérifiant cette condition devient très grosse dans les machines complexes. Ainsi, si on considère l'exemple de la machine à remplir et à boucher présentée au chapitre précédent, on aurait pour la variable « ci » : $ci = a_0 b_0 c_0 d_0 e_0$. Si on utilise la variable « ci », il faudrait que l'équation correspondante apparaisse clairement en annexe du GEMMA.

De la production normale, les évolutions possibles vers l'arrêt dans l'état initial sont :

F1 → A2 → A1 : Arrêt en fin de cycle sans marche de clôture ;

F1 → F3 → A1 : Arrêt une marche de clôture.

La Partie Opérative d'une machine devrait être schématisée dans sa position initiale. Ces dessins sont des éléments importants dans les dossiers techniques de la machine.

A2 - Arrêt demandé en fin de cycle

Ce mode est un état transitoire vers l'état A1. Il peut être considéré comme une mémorisation de la demande d'arrêt en fin de cycle. Pour y accéder (à partir de F1 ou D3), il faut avoir

appuyé sur un bouton poussoir « *ACY* », abréviation de « *arrêt en fin de cycle* ». Le passage au rectangle A1 exige que le cycle en cours se soit terminé et que la machine soit revenue en condition initiale.

A3 - Arrêt demandé dans un état déterminé

Ce mode est un état transitoire vers l'état A4. C'est une mémorisation de la demande d'arrêt de la machine dans un état autre que l'état initial. On accède à cet état à partir des rectangles états F1 et D3. Dans plusieurs applications, cet arrêt consiste simplement en un figeage de l'automatisme.

A4 - Arrêt obtenu

Si la machine doit s'arrêter dans un état différent de la condition initiale, ce rectangle état est requis. La machine s'arrêtera selon une des méthodes suivantes :

- Arrêt à une (ou des) étape donnée ;
- Arrêt à l'étape en cours en terminant les mouvements en cours ;
- Arrêt à l'étape en cours en bloquant les mouvements en cours.

Une condition de redémarrage sera nécessaire pour retourner en production normale (F1).

A5 - Préparation pour remise en route après défaillance

Suite à une panne, il peut être nécessaire de procéder à diverses opérations qui sont souvent manuelles : dégagement de pièces, dépannage des actionneurs, nettoyage, etc. On accède à ce rectangle état depuis les rectangles états D1 ou D2. La Partie Commande ne doit pas générer d'action, sauf si le fonctionnement en mode manuel est envisagé. La Partie Opérative peut être en ou hors énergie, selon les besoins.

A6 - Mise de la P.O. dans un état initial

Lors de la mise en énergie de l'automatisme, ça se peut qu'il ne soit pas dans son état initial. Auquel cas, la machine ne peut pas aller directement en A1 lors de la mise en énergie. Le rectangle état A6 est prévu pour déclarer la façon dont se fera l'initialisation de la machine.

Dans ce rectangle état, on indique comment l'automatisme doit être remise en condition initiale. Ce peut être :

- Mise en référence manuelle :
 - Passage en mode manuel ;
 - Un voyant «Référence» indiquera l'atteinte de la condition initiale ;
- Mise en référence automatique
 - Par actions simultanées sur tous les actionneurs ;
 - Par actions séquentielles ;
 - Lancement de la mise en référence par appui sur le bouton poussoir nommé « Bref ».

Ce rectangle état doit être inséré dans toutes les évolutions vers A1 qui impliquent que la machine n'est pas en référence :

A5 → A6 → A1 : Initialisation nécessaire suite à la préparation pour remise en route après défaillance ;

F4 → A6 → A1 : Initialisation suite à un mode manuel ;

Mise en énergie → A6 → A1 : Si la machine n'est pas en condition initiale lors de la mise en énergie.

A7 - Mise de la P.O. dans un état déterminé

Il est possible de placer certains automatismes dans un état autre que l'état initial avant de redémarrer la production. Par exemple, dans certains automatismes, les actionneurs doivent être remis dans le même état qu'ils étaient lors de l'arrêt d'urgence.

L'évolution à partir de A7 pour retourner en production normale (F1) sera : $A7 \rightarrow A4 \rightarrow F1$.

3.3 Les rectangles états de la famille «D» : Procédures de défaillances

D1 - Arrêt d'urgence

Ce rectangle état correspond à une situation critique ou l'automatisme doit réagir immédiatement. On peut (et on doit) y accéder de tout autre état suite à l'appui d'un bouton «coup de poing» identifié «AU» pour arrêt d'urgence, ou de façon automatique suite à la détection d'une situation critique ou d'un défaut dans la Partie Opérative.

Les procédures envisagées ici sont :

- Arrêt immédiat ou en fin de mouvement des actionneurs par figeage ;
- Arrêt immédiat des actionneurs par inhibition des actions ;
- Procédures limitant les dégâts ;
- Dégagements ;
- Etc.

Simultanément, il faudrait avertir l'opérateur en enclenchant un klaxon et/ou un gyrophare. On affiche un message sur l'interface opérateur indiquant la nature et la gravité de la défaillance.

D2 - Diagnostic et/ou traitement de défaillance

Lors d'une défaillance, il peut être nécessaire de procéder à un diagnostic pour trouver l'origine de la défaillance. Cela permet de réduire le temps requis pour dépanner l'automatisme et par conséquent d'en augmenter la disponibilité. Suite à un diagnostic, le technicien est en mesure de traiter la défaillance et de réparer l'automatisme.

Ce rectangle état s'applique lorsque la machine est relativement complexe ou lorsqu'il est possible que l'origine de la défaillance soit difficile à trouver. L'automaticien peut éventuellement programmer des fonctions de diagnostic pour aider le technicien à trouver l'origine de la panne.

Selon la nature de l'incident, le retour à la production sera plus ou moins fastidieux. Voici deux façons possibles de faire.

En cas de panne légère, il est possible d'évoluer selon la séquence suivante : $D2 \rightarrow A5 \rightarrow A7 \rightarrow A4 \rightarrow F1$. Donc, on fait le diagnostic et on traite la panne, l'opérateur nettoie les dégâts, la machine est remise dans les conditions quelle avait lors de l'incident, puis elle attend un ordre de redémarrage avant d'aller en production normale.

En cas de panne lourde ou grave, il est fortement recommandé de retourner en condition initiale selon l'évolution suivante : $D2 \rightarrow A5 \rightarrow A6 \rightarrow A1$. Une fois arrêtée en condition initiale, la machine peut être redémarrée normalement, avec ou sans marche de préparation.

Il est important de noter que la Partie Commande ne doit envoyer aucune action. La Partie Opérative peut être en ou hors énergie, selon la nature de la panne.

D3 - Production tout de même

Pour certaines défaillances très bénignes, par exemple un poste dans une chaîne de production, il est possible de produire quand même. Bien sûr, il ne faut surtout pas que la sécurité des personnes et des biens soit diminuée. La production sera alors dégradé et exigera l'ajout de opérateurs non prévus pour remplacer le poste défaillant.

Par exemple, si le poste de bouchage de la machine à remplir et à boucher tombe en panne, on peut le désactiver et demander à un ou deux opérateurs de boucher manuellement les bouteilles. Généralement, on prévoit des sélecteurs pour désactiver le poste défaillant. Il est aussi possible qu'un technicien puisse réparer le poste alors que le reste de la machine fonctionne.

De façon générale, l'évolution vers D3 est : $F1 \rightarrow D3$. Si l'opérateur a fait un arrêt d'urgence, il peut arriver qu'il puisse repartir l'automatisme, mais sans un poste qui est défectueux. L'évolution pourra donc ressembler à : $D1 \rightarrow D2 \rightarrow A5 \rightarrow A7 \rightarrow A4 \rightarrow D3$ ou encore $D1 \rightarrow A5 \rightarrow A6 \rightarrow A1$.

Du rectangle état D3, il n'est pas recommandé de passer directement au rectangle état de production normale (F1). Si tout redevient normal on recommande de retourner à F1 via un arrêt en condition initiale (A1) : $D3 \rightarrow A2 \rightarrow A1$ ou via un arrêt dans un état quelconque (A4) : $D3 \rightarrow A3 \rightarrow A4$.

4 La mise en œuvre du GEMMA

4.1 Mise en contexte

Dans la pratique courante, la sélection des modes de marches, d'arrêts et de défaillances se fait souvent de façon non méthodique. Il se produit souvent que des gens oublient de penser à certains modes et ne les intègrent par dans le GRAFCET final de la machine. Lorsque la machine est installée chez le client, les surprises apparaissent et on découvre rapidement que certains modes ont été oubliés. Cela entraîne un mauvais vécu de la machine par le client et des modifications qui peuvent être longues et pénibles.

Pour nous éviter de se retrouver dans une telle situation, l'AFCEC a recommandé une approche méthodique de l'analyse des spécifications d'un automatisme.

Étape 1 :

- Étude du processus d'action et définition du cycle de production normal.
 - Définition des fonctions, des informations et des actions nécessaires au bon fonctionnement de l'automatisme.
- Cela mène au GRAFCET de niveau 1.

Étape 2 :

- Définition de la Partie Opérative et des capteurs.
 - Choix de la technologie des actionneurs et des capteurs.
- Cela mène au GRAFCET de niveau 2 (GRAFCET opérationnel de base).

Étape 3 :

- Mise en œuvre du GEMMA pour la sélection des modes de marches, d'arrêt et les procédures de défaillance avec la mise en évidence de l'évolution entre ces modes.

Étape 4 :

- Définition à l'aide du GEMMA des conditions d'évolution entre les états de marches et d'arrêts.
- Définition des fonctions du pupitre de commande.
- Établissement du GRAFCET final.

Étape 5 :

- Choix de la technologie de la Partie Commande.
 - Mise en œuvre des Technoguides.

Étape 6 :

- Conception du schéma ou du programme de commande dans la technologie choisie.

Donc la mise en œuvre du GEMMA a lieu après que les spécifications fonctionnelles ont été analysées par les GRAFCET. Ces spécifications fonctionnelles ne concernent que le fonctionnement normal. Le GEMMA s'attarde sur les spécifications opérationnelles qui envisage les différents modes de marches et d'arrêts, ainsi que les divers cas de défaillance.

4.2 Utilisation du GEMMA : Sélection des modes et des évolutions.

Pour utiliser le GEMMA, il faut commencer dans un premier temps regarder chacun des rectangles états et se demander quels sont ceux qui s'appliquent à l'automatisme qui est analysé. Il faut donc envisager tous les états possibles. On balaye la feuille de GEMMA en prenant les rectangles états A1 et F1 comme pôles puisqu'ils sont obligatoires (figure 5-7).

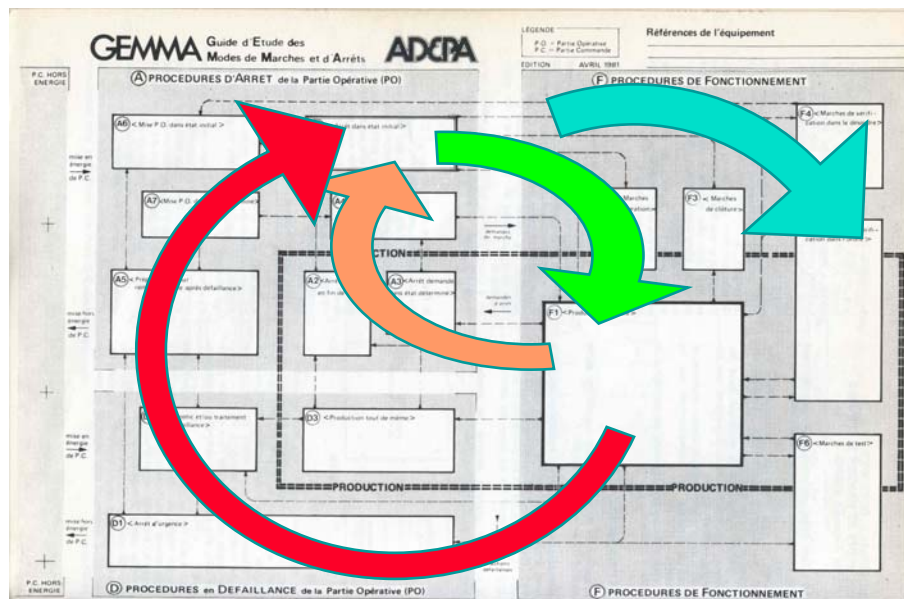


Figure 5-7 : Balayage de la feuille de GEMMA.

On se demande d'abord quelle évolution suivre lors du démarrage. Le choix est :

- A1 → F1 : Démarrage sans marche de préparation ;
- A1 → F2 → F1 : Démarrage avec marche de préparation.

Ce qui permet de répondre à la question suivante : « une marche de préparation est-elle nécessaire ? ».

Ensuite, on se demande quelle évolution suivre lors de l'arrêt normal de production. Le choix est alors :

- F1 → A2 → A1 : Arrêt en fin de cycle sans marche de clôture ;
- F1 → F3 → A1 : Arrêt avec une marche de clôture ;
- F1 → A3 → A4 : Arrêt dans un état autre que la condition initiale.

Ce qui permet de répondre aux questions suivantes :

- « Une marche de clôture est elle nécessaire ? »
- « Un arrêt dans un état autre que la condition initial est-il nécessaire? »

Puis, on se demande quelle évolution suivre lors d'une défaillance de l'automatisme. Un grand nombre de choix est disponible :

- F1 → D3 : Défaillance légère permettant une marche de production tout de même ;
- D1 → D2 → A5 → A7 → A4 → D3: Arrêt d'urgence puis évolution pour production tout de même (défaillance légère impliquant l'arrêt d'un poste) ;
- D1 → A5 → A6 → A1: Arrêt d'urgence puis évolution pour un arrêt en condition initiale (défaillance majeure) ;
- D1 → A5 → A7 → A4: Arrêt d'urgence puis évolution pour un arrêt dans le même état que lors de l'apparition de l'arrêt d'urgence (défaillance mineure) ;
- D1 → D2 → A5 → A6 → A1: Arrêt d'urgence avec diagnostic et traitement, puis évolution pour un arrêt en condition initiale (défaillance majeure) ;
- D1 → D2 → A5 → A7 → A4: Arrêt d'urgence avec diagnostic et traitement, puis évolution pour un arrêt dans le même état que lors de l'arrêt d'urgence (défaillance mineure)

Ce qui permet de répondre aux questions suivantes :

- « Quel genre de défaillance peut affecter l'automatisme ? »
- « Y-a-t-il des défaillances pour lesquelles on peut réussir de produire tout de même de façon sécuritaire ? »
- « Qu'elle doit être le comportement de la machine en arrêt d'urgence ? »
- « La machine est elle suffisamment compliquée pour exiger un diagnostic élaboré ? »
- « Suite à une défaillance, la machine doit elle être retournée en condition initiale ? »
- « Suite à une défaillance, la machine peut elle être remise en marche en repartant de l'état ou elle était lors de l'apparition de l'arrêt d'urgence ? »

Ensuite, on se demande si des « marches de vérification dans le désordre » (F4), des « marches de vérification dans l'ordre » (F5), ou « des marches de test » (F6) sont nécessaires.

Dans les rectangles états retenus, inscrire clairement une description de ce qui se passe dans ce mode. On y inscrit aussi l'appellation «maison» utilisée pour identifier ce mode. Si le rectangle état n'est pas assez gros pour y inscrire tous les détails, on devrait le décrire sur des pages en annexe auquel le rectangle état devra faire référence.

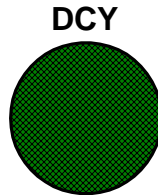
Pour les rectangles états non retenus, on les barre d'un «X».

Ensuite, on doit évaluer quelles évolutions doivent être retenues. Celles qui seront retenues verront leur trait renforcé par un crayon à pointe large.

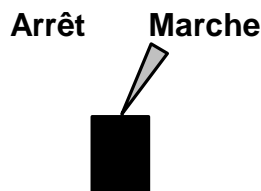
4.3 Utilisation du GEMMA : Définition des conditions des évolutions.

Pour compléter le GEMMA, il faut évaluer pour chaque évolution retenue les conditions logiques d'évolution. Cela permet de concevoir le pupitre de commande. Ainsi, on doit spécifier par leur nom logique (exemple : AU, DCY, ACY,...) les différents éléments du pupitre de commande. Ces éléments peuvent être :

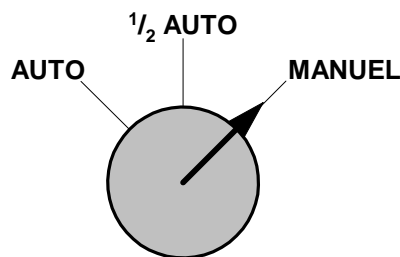
- Un bouton momentané :
 - Ce bouton doit être appuyé tant que l'on désire qu'il soit actif ;
 - Utilisé pour toutes les actions momentanées.



- Un bouton à enclenchement mécanique :
 - Ce bouton à deux positions exige une action pour l'enclencher et une autre pour le désenclencher.
 - Exemple : bouton d'alimentation d'un appareil.



- Un sélecteur :
 - Un sélecteur est un dispositif à plusieurs positions souvent utilisé pour choisir des modes de fonctionnement.



L'analyse des conditions d'évolution peut entraîner l'ajout de capteurs sur la machine. Ces conditions permettront de compléter le GRAFCET final.

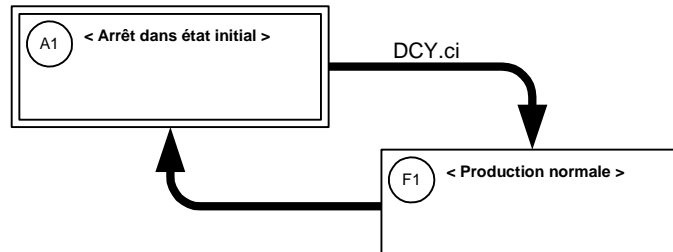
Les conditions d'évolution peuvent dans certains cas être inscrits sur le GEMMA. Dans d'autres cas, si la condition d'évolution est jugée évidente ou quelle dépend de l'intervention humaine, elle n'est pas explicitement écrite. Par exemple, la Partie Commande n'étant pas équipée de capteur pour savoir à quel moment le nettoyage manuel est terminé, la condition d'évolution de A5 vers A6 n'est pas explicitement écrite.

4.4 Exemples des principale boucles du GEMMA

Pour monter la mise en œuvre du GEMMA, nous montrons ici diverses configurations typiques. Un GEMMA réel peut être la combinaison de plusieurs de ces configurations.

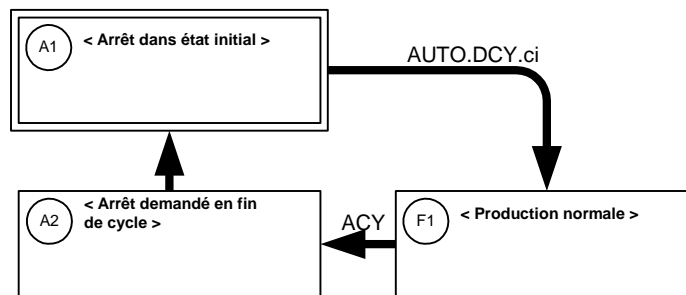
Attention : ces exemples ne couvrent pas toutes les situations possibles.

Cas #1 : GEMMA minimal d'une machine semi-automatique



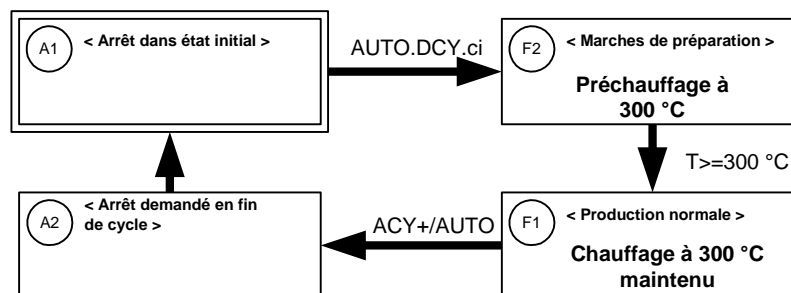
Ce GEMMA correspond au cas où la machine produit uniquement à la pièce. Ce mode de fonctionnement est appelé mode semi-automatique. Le GRAFCET résultant est directement le GRAFCET de base. La condition de mise en marche, c'est que la machine soit en condition initiale (variable « ci ») et que l'opérateur appui sur le bouton de départ de cycle.

Cas #2 : GEMMA minimal d'une machine automatique



Ce GEMMA correspond au cas où la machine produit en mode automatique. La condition de mise en marche est que le sélecteur de mode soit à automatique, que le bouton de départ de cycle soit appuyé et que la machine soit en condition initiale. Lorsque la machine produit, elle peut s'arrêter en fin de cycle suite à l'appui du bouton d'arrêt de cycle (ACY).

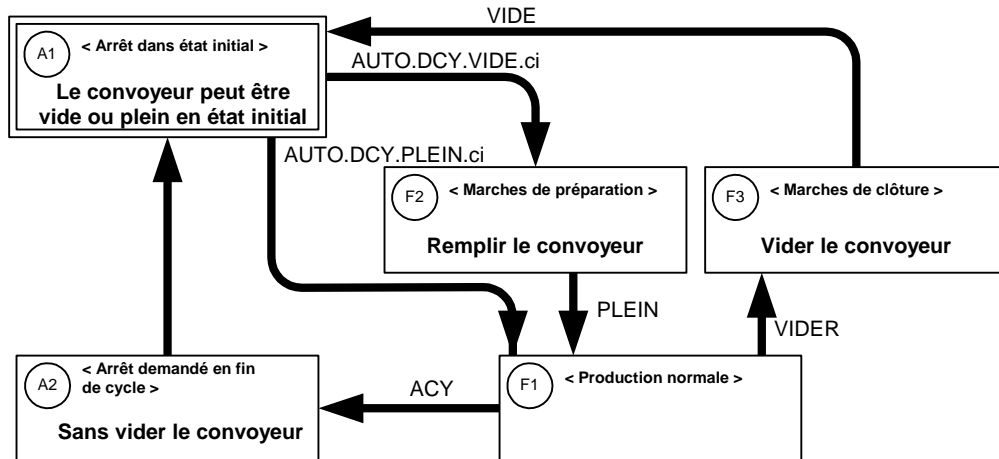
Cas #3 : GEMMA d'une machine automatique ou semi-automatique avec une marche de préparation



Dans le cas où une marche de préparation est nécessaire, l'évolution doit passer par le rectangle état F2 avant de passer en production normale.

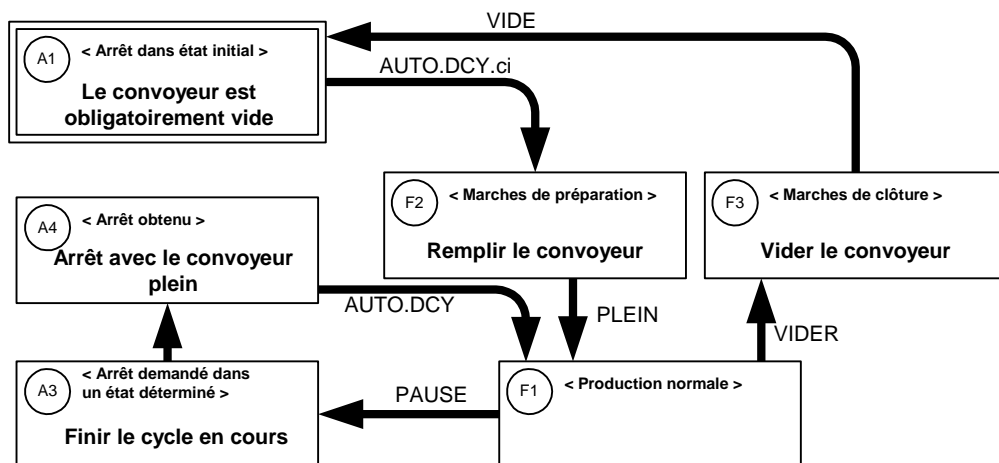
Le schéma ci-dessus correspond à une machine automatique. Pour un *automatisme semi-automatique* ou l'opérateur doit intervenir à chaque cycle, la condition de démarrage de l'automatisme serait simplement : *MARCHE.ci*. Le signal DCY serait à l'intérieur du rectangle état F1. Le signal d'arrêt de l'automatisme serait simplement identifié : ARRÊT.

Cas #4 : GEMMA d'une machine avec marches de préparation et de clôture



Si une machine nécessite une marche de clôture, par exemple pour vider un convoyeur à la fin de la journée, il faut prévoir un signal demandant l'exécution de la marche de clôture. C'est d'autant plus vrai que la machine ayant le GEMMA ci-haut peut être arrêtée en fin de cycle pour une courte période (sans vider le convoyeur) avec le signal ACY. Donc la condition initiale de ce GEMMA c'est que la machine soit en condition initiale, avec un convoyeur vide ou plein. Cela explique que pour la mise en route, il faut vérifier si le convoyeur est plein ou vide pour savoir si la marche de préparation est nécessaire.

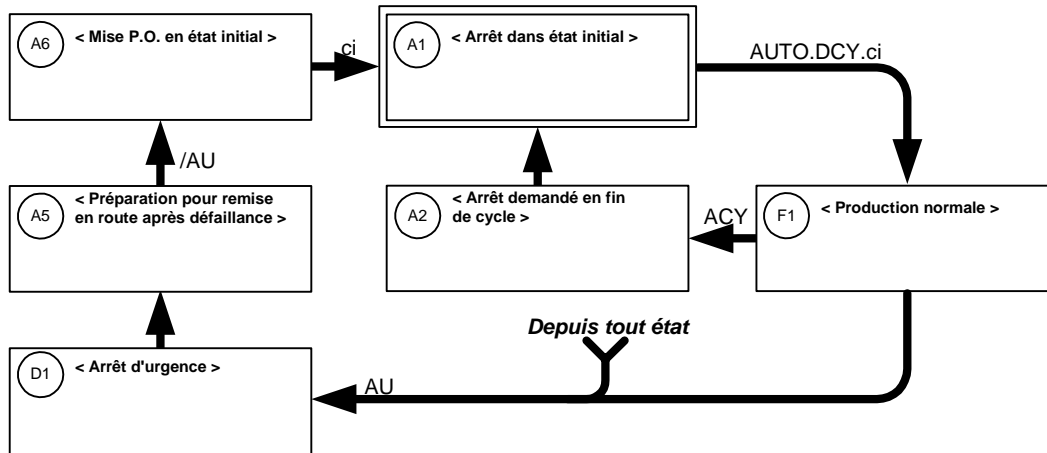
Cas #5 : GEMMA d'une machine exigeant une marche de préparation et une marche de clôture et ayant un arrêt dans un état autre qu'initial



Si la machine exige d'être arrêtée dans un état autre que l'état initial, les rectangles états A3 et A4 sont requis. Dans cet exemple, on considère que la machine en condition initiale implique obligatoirement que le convoyeur est vide.

Si on désire faire une pause (un arrêt de production) pour une courte période sans vider le convoyeur (comme dans le cas 4), on ne peut pas retourner en condition initiale. Ainsi, l'arrêt de la machine aura lieu en A4, car le convoyeur ne sera pas vidé. La seule façon de retourner vers A1 à partir de F1, c'est de vider le convoyeur en passant via la marche de clôture (F3).

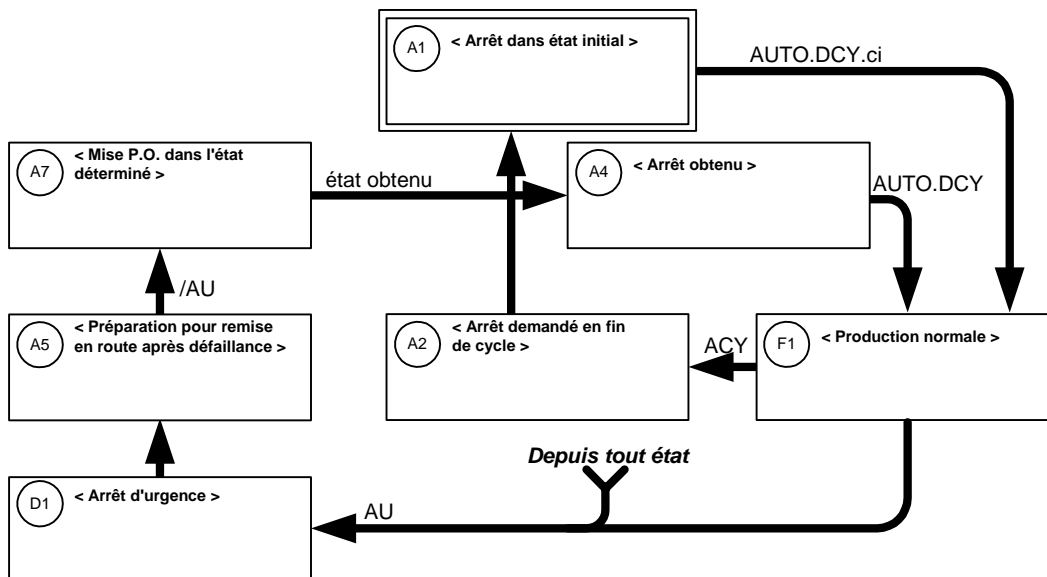
Cas #6 : GEMMA d'une machine avec arrêt d'urgence



Dans le cas où un arrêt d'urgence causé par une défaillance grave est envisagé, il faut pouvoir aller au rectangle état D1 lorsque cet arrêt d'urgence se produit. Et cela, quelque soit le rectangle état où la machine se situe. Pour éviter d'encombrer le GEMMA, on met simplement en évidence l'évolution de F1 vers D1 et on ajoute un symbole de regroupement avec la mention «Depuis tout état».

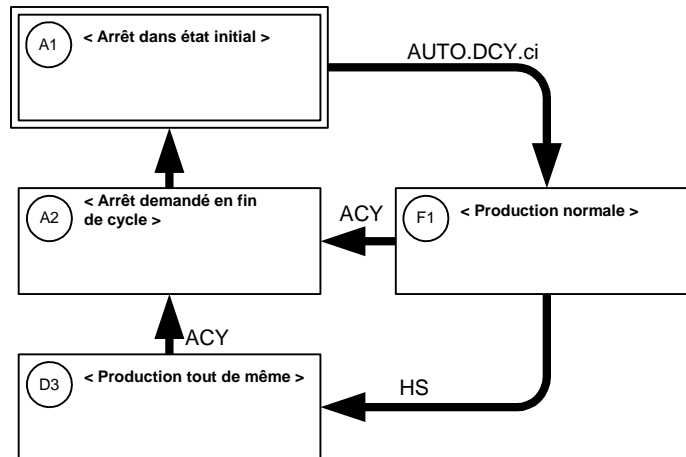
Après l'arrêt d'urgence, il faut préparer la machine à sa remise en route en la nettoyant ou en dégageant les pièces coincées (F5), puis remettre la partie opérative en condition initiale de façon manuelle ou par une initialisation automatisée (F6). La machine sera alors prête à être redémarrée.

Cas #7 : GEMMA d'une machine avec arrêt d'urgence et remise en route de l'état où la machine était lors de l'arrêt d'urgence



Si un arrêt d'urgence causé par une défaillance légère se produit, il peut être possible de repartir l'automatisme de l'étape ou il était lors de l'arrêt d'urgence. Auquel cas, il faut passer par la remise de la machine dans l'état qu'elle avait avant l'arrêt d'urgence, puis un redémarrage de cet état, d'où l'évolution via les états A7 et A4 pour retourner vers F1.

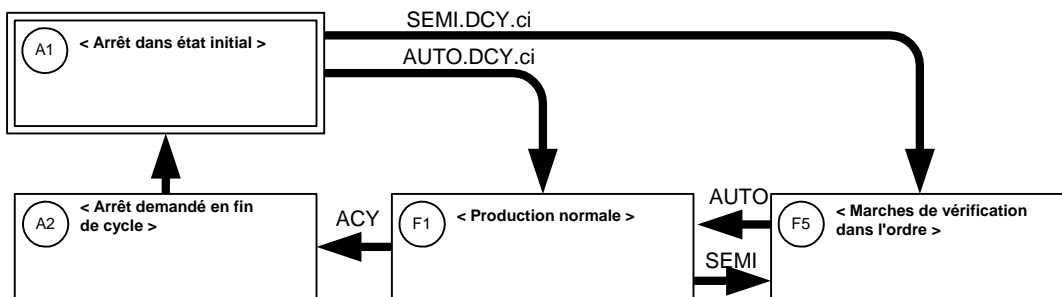
Cas #8 : GEMMA d'une machine avec production tout de même



Si la machine peut continuer à produire malgré une défaillance, il faut passer par le rectangle état D3. Un signal (par exemple «HS») doit permettre de bloquer le fonctionnement de l'élément défaillant.

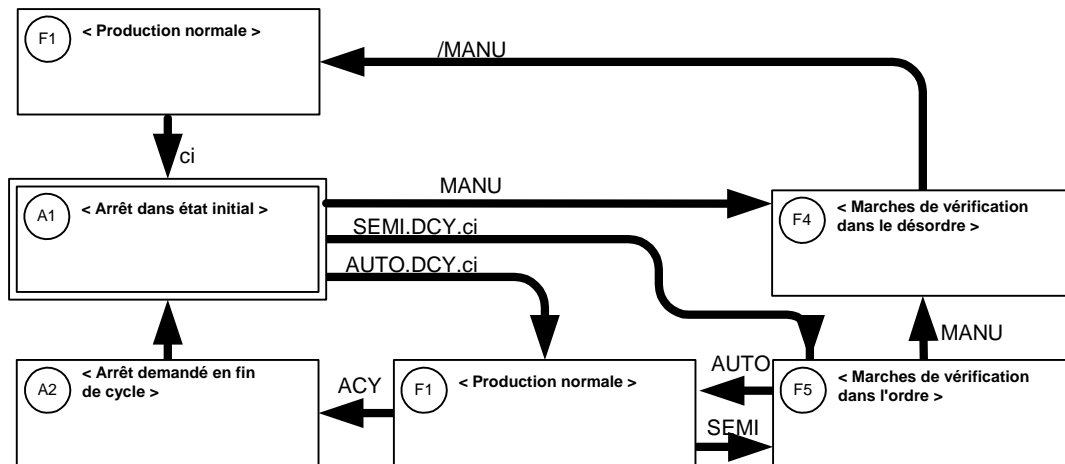
Généralement, il est préférable de stopper la machine plutôt que de retourner directement de D3 vers F1. Cela vient du fait que lors de la réparation de la partie défaillante, le technicien peut avoir à actionner certains éléments en mode «manuel».

Cas #9 : GEMMA d'une machine avec marches de vérification dans l'ordre



Si une marche de vérification dans l'ordre est prévue, on parle parfois de mode semi-automatique. Cette marche couvre les cas : marche étape par étape, marche séquence par séquence ou marche cycle par cycle. Lors de la marche de vérification dans l'ordre, il est possible de passer au mode de production normale en tournant le sélecteur en position «AUTO».

Cas #10 : GEMMA d'une machine avec marches de vérification dans le désordre et dans l'ordre



Le mode «MANUEL» correspond au rectangle état F4. On peut y accéder du mode «SEMI-AUTOMATIQUE» (F5) ou de l'arrêt complet dans l'état initial (A1). Dans ce mode, l'opérateur peut actionner les actionneurs dans l'ordre qu'il le désire. Par contre, il existe toujours un risque que l'opérateur ne remette pas la machine en condition initiale. Donc du rectangle état F4, il faut repasser *obligatoirement* par le rectangle état A6 pour que cette remise en condition initiale ait lieu.

5 Effets du GEMMA sur le GRAFCET

Le GEMMA affecte directement le GRAFCET de niveau 2, car il envisage tous les cas de fonctionnement autres que le fonctionnement normal qui est couvert par le GRAFCET.

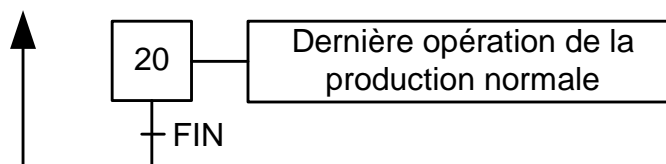
Cette combinaison du GRAFCET et du GEMMA mène à deux approches possibles :

- Enrichissement du GRAFCET ;
- Découpages en tâches.

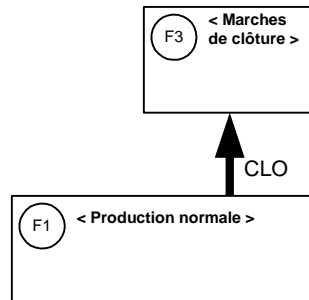
5.1 Enrichissement du GRAFCET

Lorsque le GRAFCET de niveau 2 et le GEMMA sont simples, l'enrichissement du GRAFCET est une très bonne solution.

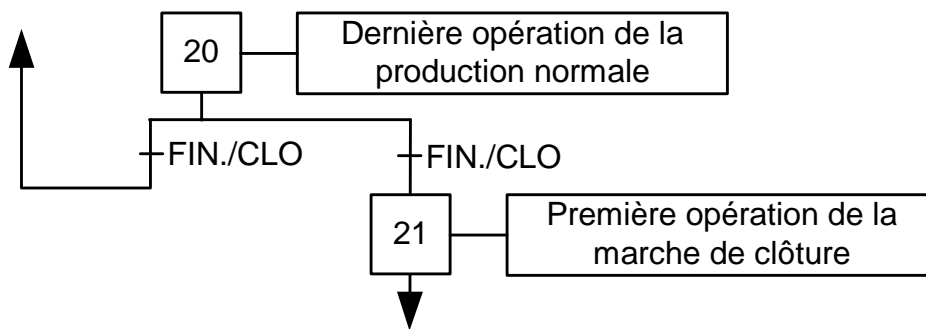
Les effets de l'enrichissement d'un GRAFCET sont simplement l'ajout d'aiguillages et d'étapes supplémentaires au GRAFCET de niveau 2. Ainsi, supposons un GEMMA dans lequel une marche de clôture est prévue et que le GRAFCET de niveau 2 de la production normale se termine ainsi avant d'appliquer le GEMMA :



Dans le GEMMA, la marche de clôture se fait si une condition (identifiée ici par la variable «CLO») est remplie :



Si CLO est inactif, la machine reste en production normale. Sinon, la machine exécute sa marche de clôture. Ce qui se traduit par ce nouveau GRAFCET :



Il y a donc création d'un aiguillage correspondant la décision entre : entamer le début de la marche de clôture ou poursuivre la production normale.

Si le GRAFCET de départ est compliqué ou si le GEMMA est complexe, cette solution est moins praticable car le GRAFCET résultant devient illisible.

5.2 Découpages en tâches

Au chapitre précédent, la notion de tâches a été présentée. L'utilisation de tâches permet de simplifier le passage du GRAFCET de niveau 2 et du GEMMA à un ensemble de GRAFCET finaux, chacun ayant une fonction bien définie. Cela fait en sorte de ne pas avoir tout en un seul GRAFCET illisible.

Une fois ces tâches créées, il faut évaluer les conditions d'évolution entre elles. En effet, il est nécessaire d'éviter les problèmes dus à un manque de coordination entre les tâches.

Pour ce faire, on peut coordonner ces tâches de deux façons :

- Coordination horizontale ;
- Coordination verticale (ou hiérarchisée).

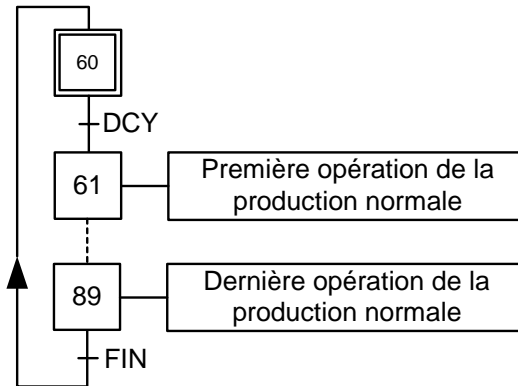
5.2.1 La coordination horizontale

Cette technique de coordination entre les tâches est utilisée lorsque les conditions suivantes sont remplies :

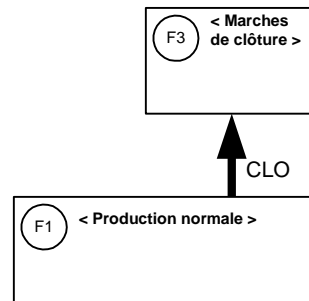
- Aucune de ces tâches n'est prééminente ;
- Le nombre de tâches est réduit ;
- Les liaisons entre les tâches sont réduites.

En coordination horizontale, une seule tâche à la fois peut être active. On compare cela avec une course relais, ou un coureur à la fois porte le relais.

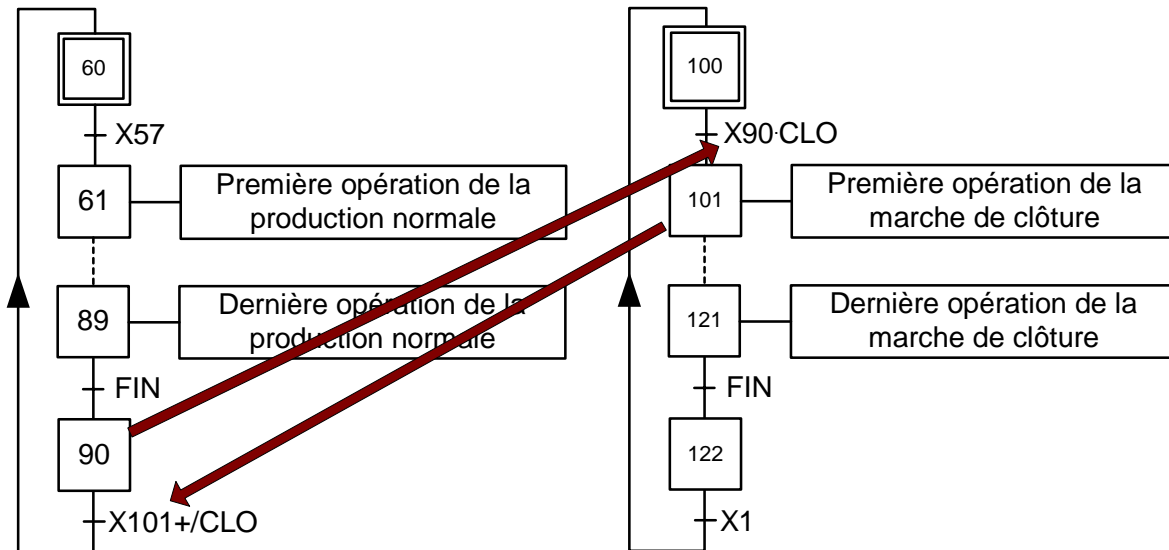
Pour montrer ce qu'il en est, prenons le GRAFCET de niveau 2 initial suivant :



Combiné avec le GEMMA suivant :



Ce qui permet d'obtenir le GRAFCET découpé en tâches suivant :



Tâche de production normale (F1)

Tâche de marche de clôture (F3)

La tâche de production normale (F1) suit la tâche de la marche de préparation (F2) non montrée ici. Lorsque la tâche F2 est terminée, elle se trouve à l'étape 5 et elle démarre la tâche F1.

Lorsque le capteur « CLO » est au niveau logique 1 et que la tâche F1 est à l'étape 90 (tâche F1 complétée), la tâche de la marche de clôture (F3) démarre. Cette tâche passe à l'étape 101, ce qui retourne la tâche F1 en étape d'attente (étape 60).

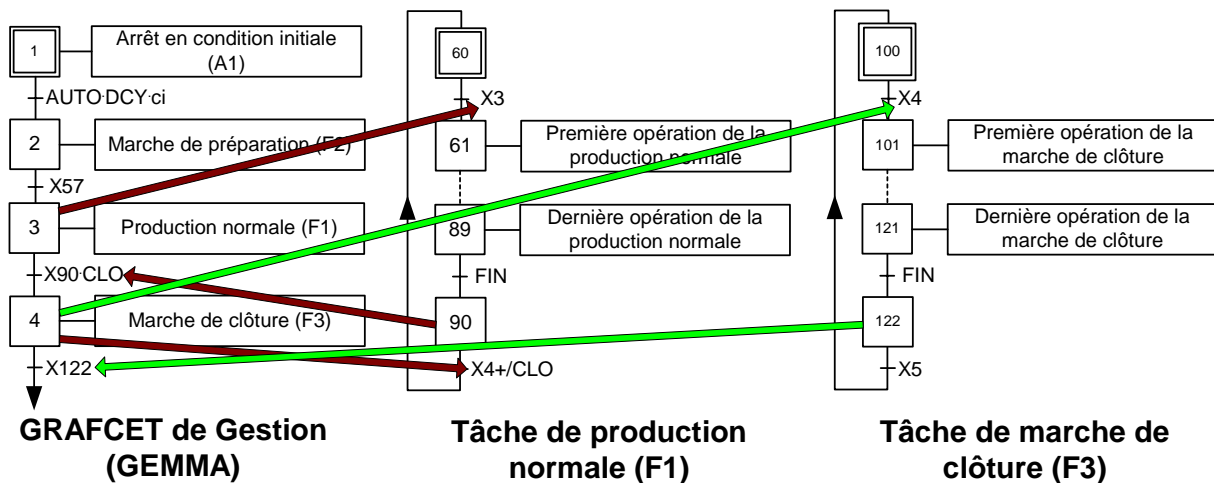
L'étape 122 marque la fin de la tâche F3 et déclenche une autre tâche non montrée...

L'exemple montre bien l'enchaînement, i.e., la coordination horizontale entre la tâche F1 et la tâche F3.

5.2.2 La coordination verticale

Cette technique utilise des tâches disposées selon une structure hiérarchique. Des tâches de niveau hiérarchique supérieur gèrent un ensemble de tâches de niveau hiérarchique inférieur. Pour un automatisme donné, il peut y avoir plusieurs niveaux. Poussé à sa limite, le GEMMA génère un GRAFCET de niveau supérieur et les rectangles états génèrent des GRAFCET de niveau inférieur.

Si on applique cette approche à l'exemple précédent, on aurait les GRAFCET suivants :



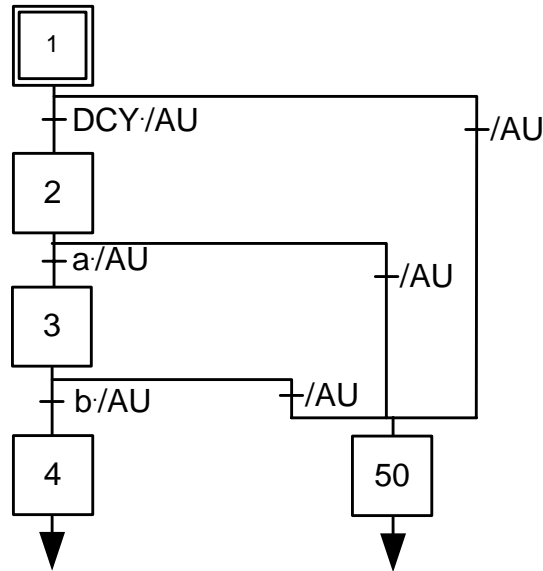
Dans cet exemple, chaque étape du GRAFCET de Gestion correspond à un rectangle état du GEMMA. Ce GRAFCET est le maître du système.

Les autres GRAFCET montrés sont deux des GRAFCET esclaves de niveau hiérarchique inférieur. Lorsque le GRAFCET de Gestion se trouve à l'étape il démarre le GRAFCET de production normale (F1). Celui-ci tourne tant que le GRAFCET de Gestion reste à l'étape 3. Le signal « CLO » permet le passage du GRAFCET de Gestion à l'étape 4.

La tâche F1 est alors remise en attente (étape 60) et la tâche de la marche de clôture (F3) est démarrée. Lorsque la marche de clôture est terminée (étape 122), le GRAFCET de Gestion passe à l'étape suivante (peut-être l'étape 5) et remet la tâche F3 en attente.

5.2.3 Le cas de l'arrêt d'urgence

L'arrêt d'urgence ne peut être considéré comme une entrée quelconque. Entre autres, parce que l'arrêt d'urgence doit être câblé. Une autre raison est l'exemple d'enrichissement suivant ou l'arrêt d'urgence se traduit par une séquence d'urgence à exécuter :



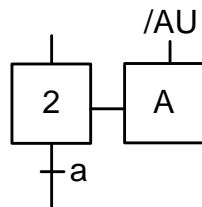
Si le GRAFCET comporte un grand nombre d'étapes, cette approche devient rapidement illisible. Pour cette raison, l'arrêt d'urgence doit être traité de façon particulière pour pouvoir avoir une représentation beaucoup plus lisible.

Dans un automatisme, on peut retrouver deux types d'arrêts d'urgence :

- Les arrêts d'urgence sans séquence d'urgence ;
 - Arrêt par inhibition des actions ;
 - Arrêt figeage.
- Les arrêts d'urgence avec séquence d'urgence.
 - Tâche d'arrêt d'urgence ;
 - Symbole de regroupement.

5.2.4 Arrêt d'urgence par inhibition des actions

Lors d'un arrêt d'urgence, on peut simplement désirer que toutes les actions soit bloquées (inhibées). Donc, toutes les actions doivent être remises au niveau logique 0 lors de l'arrêt d'urgence. Cela correspond à l'écriture suivante :



L'action A est donc conditionnelle à l'absence de l'arrêt d'urgence. Cette condition devrait être ajoutée à toutes les actions du GRAFCET. Cela peut être lourd si le GRAFCET comporte beaucoup d'étapes. On peut simplement mettre une note sur le GRAFCET final indiquant que la machine utilise un arrêt d'urgence de type « *inhibition des actions* ». On évite donc ainsi d'avoir à ajouter la condition non arrêt d'urgence sur toutes les actions. Toutefois, il ne faut pas oublier de faire apparaître cette condition dans le diagramme échelle.

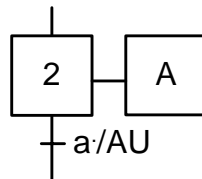
Il est très important de noter que l'inhibition d'une action n'entraîne pas nécessairement l'absence de mouvements. Par conséquent, le choix des actionneurs est très critique, car il dicte le comportement de cet actionneur lors de l'inhibition.

Dans le cas des systèmes pneumatiques ou hydrauliques, les actionneurs sont des distributeurs. Lorsque le *distributeur est à simple action*, l'inhibition de cette action *retourne* le distributeur à sa position de repos et fera donc en sorte que le vérin correspondant retournera à sa position de repos. Un distributeur à double action inhibé restera à la position où il est et le vérin correspondant terminera le mouvement en cours. Un distributeur hydraulique à trois positions retournera à sa position de repos lors de l'inhibition, ce qui entraînera l'arrêt du vérin sur place.

Dans le cas des systèmes électriques, il est *obligatoire* d'utiliser des contacteurs, qui sont les actionneurs électriques, *monostables* qui retourneront à leur position initiale lors de l'arrêt d'urgence. On aura de surcroît tendance à utiliser des interrupteurs de surcourses (« limit switches ») de sécurité pour déclencher un arrêt d'urgence si le système dépasse les limites de course normalement allouées.

5.2.5 Arrêt d'urgence par figeage

Certains arrêts d'urgence ont comme effet de figer le GRAFCET pour en empêcher son évolution. Ce figeage est obtenu en écrivant des réceptivités conditionnelles à l'absence de l'arrêt d'urgence. L'arrêt d'urgence entraîne un blocage du GRAFCET par non-franchissement des transitions puisque les réceptivités seront fausses. Voici un exemple d'écriture :



Ainsi, si à l'étape 2 la condition « a » est vraie et qu'il n'y a pas d'arrêt d'urgence, le GRAFCET passera à l'étape suivante. Par contre lors d'un arrêt d'urgence, la réceptivité reste fausse quelque soit « a », ce qui bloque le GRAFCET à l'étape 2.

Il faut prendre en compte la nature de l'actionneur lorsque l'on pratique le figeage. En effet pour un actionneur pneumatique ou hydraulique, cela ne pose pas trop de problème, puisque un vérin en buté s'arrête. *Par contre, la prudence est de mise avec les actionneurs électriques*, car l'action reste active. Généralement on combine le figeage et l'inhibition des actions pour certains actionneurs électriques.

Pour éviter d'encombrer le GRAFCET, on ajoute une note sur le GRAFCET final indiquant que la machine utilise un arrêt d'urgence de type « figeage ». Mais, il ne faut surtout pas oublier de le programmer dans l'automate.

5.2.6 Arrêt d'urgence utilisant une tâche spéciale

Dans certains cas, il faut que l'arrêt d'urgence suive une certaine séquence pour limiter les dégâts et faire certains dégagements. La sécurité d'une telle séquence doit être bien évaluée pour s'assurer qu'il n'y a aucun risque pour le personnel et le matériel.

Cette séquence peut être programmée dans une tâche d'urgence.