CONDUITE ET SÛRETE DES SYSTEMES AUTOMATISES

A. Mode de Fonctionnement des Systèmes Automatisés.

I) Le **G**uide d'**E**tude des **M**odes de **M**arches et d'**A**rrêts : **GEMMA**

1.1) Objectif:

Définir un vocabulaire précis décrivant sans ambiguïté les différents modes de marches et d'arrêts d'un système.

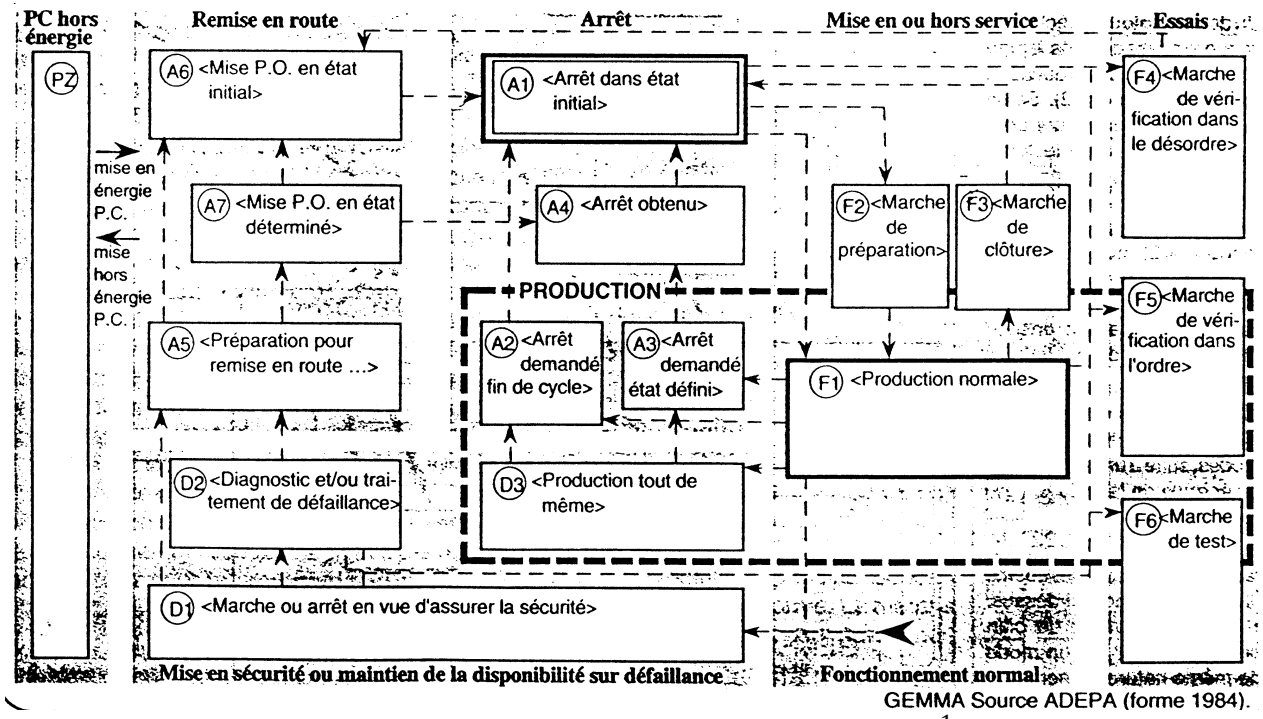
1.2) Présentation:

C'est un guide graphique basé sur quelques concepts de base qui propose une démarche en deux temps;

* Le recensement des différents modes envisagés et la mise en évidence des enchaînements qui les relient.
* La détermination des conditions de passage d'un mode à l'autre.

Le guide graphique GEMMA est constitué de deux zones :

- une zone correspondant à l'état « **hors énergie** » de la partie commande (**PC**)
- une zone permettant de décrire ce qui se passe lorsque la partie commande (**PC**) est « **sous énergie** » ; c'est la zone qui couvre la quasi totalité du guide graphique.



GEMMA Source ADEPA (forme 1984).

Remarque: Le GEMMA a apporté un cadre conceptuel et une rigueur de vocabulaire là ou n'existaient qu'ambiguïté et imprécision.
On peut regretter que son utilisation soit insuffisamment développée dans l'industrie, mais cela peut s'expliquer en raison:

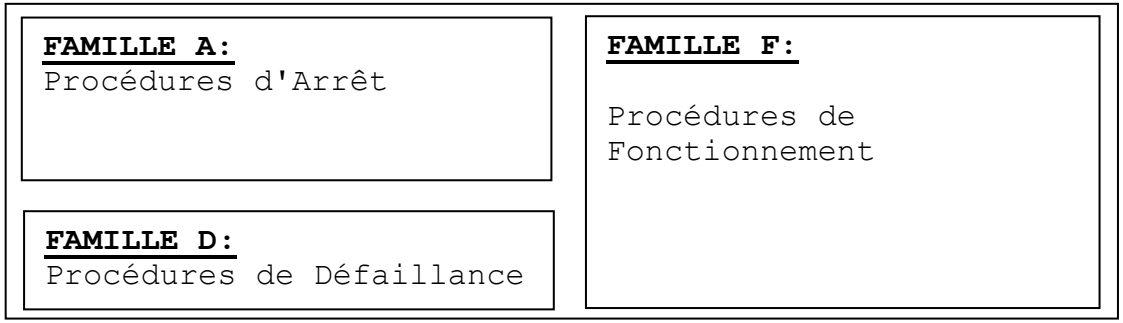
* d'une diffusion insuffisante des méthodes de construction et d'interprétation matérielle et logicielle
* de la difficulté d'appliquer le GEMMA à des unités de production complètes (ligne, module).

1.3) Concepts de base du GEMMA:

- Les modes de marches sont vus par la PC en Ordre de marche
- Le système est dit en production si la valeur ajoutée pour lequel il a été conçu est obtenue.

On y trouve 3 grandes familles de modes de marches et d'arrêts:

*** La Famille F; Procédures de Fonctionnement.**
*** La Famille A; Procédures d'Arrêt.**
*** La Famille D; Procédures de Défaillance.**



FAMILLE F: On y trouve tous les modes ou états indispensables à l'obtention de la valeur ajoutée.
Notons que l'on ne « produit » pas forcément dans tous les modes ; ils peuvent être préparatoires à la production (F2 F3 par exemple), servir aux réglages et aux tests (F4, F5 et F6)

FAMILLE A: On y trouve tous les modes conduisant à (ou traduisant) un état d'arrêt du système pour des raisons extérieures à ce dernier :

- **Arrêt fin de journée F1→ A2 → A1**
- **Arrêt temporaire F1→ A3 → A4**
- **…**

FAMILLE D: On y trouve tous les modes conduisant à (ou traduisant) un état d'arrêt du système pour des raisons intérieures à ce dernier :

- **défaillance système**

Remarque :
Le rectangle état PZ traduit un état hors service de la PC pour diverses raisons :

- **Internes sur défaillances CPU, cartes d'entrées sorties, dépassement chien de garde etc. …**
- **Externes sur coupure énergie, passage en mode « stop » par exemple.**

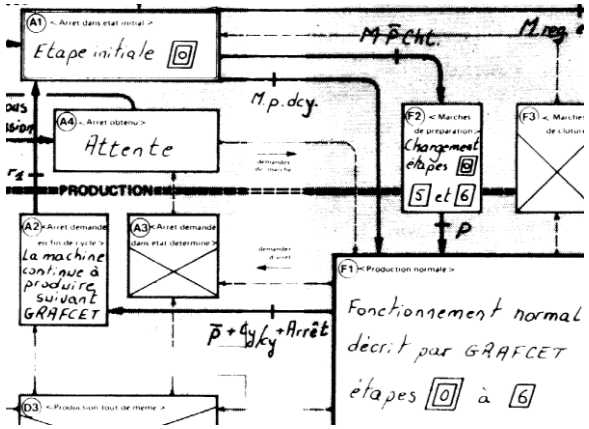
LES « RECTANGLES-ÉTATS»

Sur le guide graphique GEMMA (voir page 4), chaque mode de marche ou d'arrêt désiré peut être décrit dans l'un des «rectangles états » prévus à cette fin.

La position d'un rectangle état sur le guide graphique définit

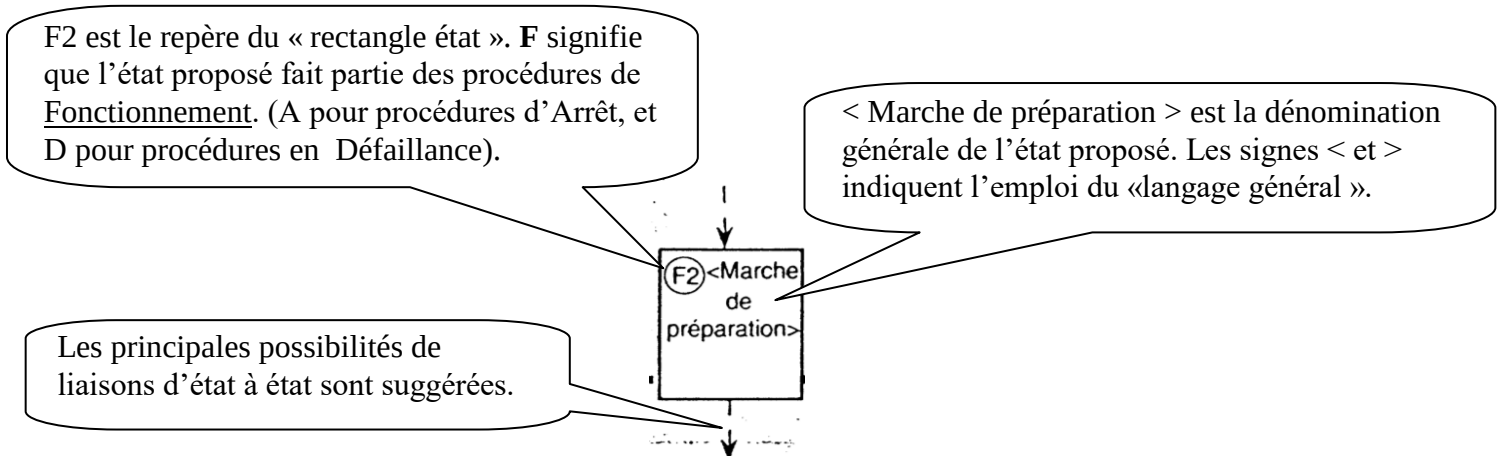
- son appartenance à l'une des 3 familles ; procédure de **F**onctionnement, d'**A**rrêt ou de **D**éfaillance.
- le fait qu'il soit « en » ou « hors production ».

En pratique, pour une machine donnée, on ne choisira parmi les états proposés par le guide que ceux qui sont nécessaires, et on précisera le nom de chacun des états retenus, à l'intérieur du « rectangle état» correspondant.



Pour effectuer ce choix, il est nécessaire de bien comprendre la signification de chacun des états de marches et d'arrêts proposés par le guide graphique.

Exemple de rectangle état



1.4) Présentation du guide GEMMA complet:

■ ***Les rectangles états***

Sur le guide graphique GEMMA, chaque mode de marches ou d'arrêts désiré peut être décrit dans un *rectangle d'état* portant une désignation qui utilise un vocabulaire ne pouvant pas prêter à confusion. Cette description pourra se faire en *langage machine* propre au concepteur. Par exemple en « Production normale », on pourra trouver la description « Marche semi-automatique ».

La position d'un *rectangle état* sur le guide graphique définit :

— son appartenance à l'une des trois familles,

— le fait qu'il soit « en » ou « hors production ».

• *Les états F*

Ce sont les états de marche situés dans la zone « procédures de fonctionnement » du guide graphique GEMMA.

F1 « Production normale » : Dans cet état, la machine produit normalement : c'est l'état pour lequel elle a été conçue. C'est à ce titre que le « rectangle-état » a un cadre particulièrement renforcé. On peut souvent faire correspondre à cet état un grafcet que l'on appelle grafcet de base.

Remarque : A cet état ne correspond pas nécessairement une marche automatique.

F2 « Marche de préparation » : Cet état est utilisé pour les machines nécessitant une préparation préalable à la production normale : préchauffage de l'outillage, remplissage de la machine, mises en routes diverses, etc.

F3 « Marche de clôture » : C'est l'état nécessaire pour certaines machines devant être vidées, nettoyées, etc., en fin de journée ou en fin de série.

F4 « Marche de vérification dans le désordre » : Cet état permet de vérifier certaines fonctions ou certains mouvements sur la machine, sans respecter l'ordre du cycle.

F5 « Marche de vérification dans l'ordre » : Dans cet état, le cycle de production peut être exploré au rythme voulu par la personne effectuant la vérification, la machine pouvant produire ou ne pas produire.

F6 « Marche de test » : Les machines de contrôle, de mesure, de tri..., comportent des capteurs qui doivent être réglés ou étalonnés périodiquement : a « Marche de test » F6 permet ces opérations de réglage ou d'étalonnage.

• *Les états A*

Situés dans la zone « procédures d'Arrêt de la partie opérative », ces états correspondent à des arrêts normaux ou à des marches conduisant à des arrêts normaux.

A1 « Arrêt dans l'état initial » : C'est l'état « repos » de la machine. Il correspond en général à la situation initiale du grafcet : c'est pourquoi, comme une étape initiale, ce *rectangle-état* est entouré d'un double cadre.

Pour une étude plus facile de l'automatisme, il est recommandé de représenter la machine dans cet état initial.

A2 « Arrêt demandé en fin de cycle » : Lorsque l'arrêt est demandé, la machine continue de produire jusqu'à la fin du cycle. A2 est donc un état transitoire vers l'état A1.

A3 « Arrêt demandé dans état déterminé » : La machine continue de produire jusqu'à un arrêt en une position autre que la fin du cycle : c'est un état transitoire vers A4.

A4 « Arrêt obtenu » : La machine est alors arrêtée en une autre position que la fin du cycle.

A5 « Préparation pour remise en route après défaillance » : C'est dans cet état que l'on procède à toutes les opérations (dégagements, nettoyages,...) nécessaires à une remise en route après défaillance.

A6 « Mise P.O. dans état initial » : La machine étant en A6, on remet manuellement ou automatiquement la partie opérative en position pour un redémarrage dans l'état initial.

A7 « Mise P.O. dans état déterminé » : La machine étant en A7, on remet la P.O. en position pour un redémarrage dans une position autre que l'état initial.

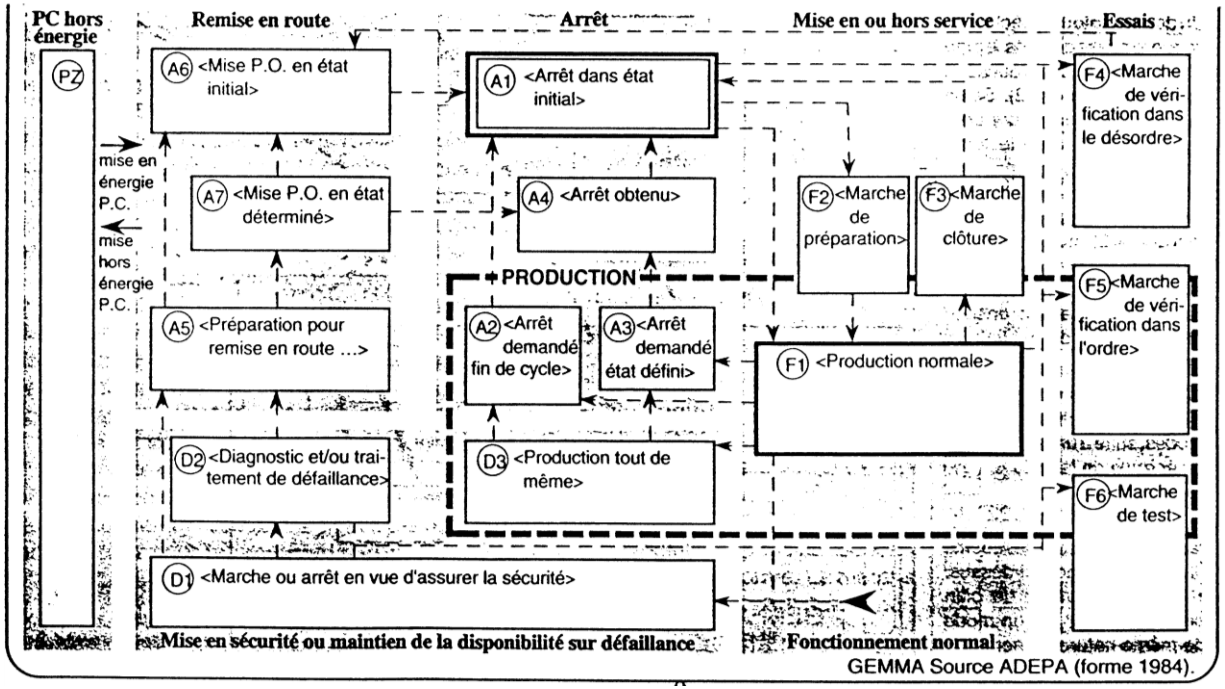
• *Les états D*

Ce sont les états de Marches et d'Arrêts situés dans la zone « procédures ou défaillances » de la partie opérative.

D1 « Arrêt d'urgence » : C'est l'état pris lors d'un arrêt d'urgence : on y prévoit non seulement les arrêts, mais aussi les cycles de dégagements, les procédures et précautions nécessaires pour éviter ou limiter les conséquences dues à la défaillance.

D2 « Diagnostic et/ou traitement de défaillance » : C'est dans cet état que la machine peut être examinée après défaillance et qu'il peut être apporté un traitement permettant le redémarrage.

D3 « Production tout de même » : Il est parfois nécessaire de continuer la production même après défaillance de la machine : on aura alors une « production dégradée », ou une « production forcée », ou une production aidée par des opérateurs non prévus en « Production normale ».



GEMMA Source ADEPA (forme 1984).

1.5) Méthode d'utilisation:

Avec le GEMMA l'étude des modes de marches et d'arrêts est prévue dès la conception et intégrée dans la réalisation.

Séquence d'étude.

Phase 1

- Etude du processus d'action.

Parallèlement

- Définition du cycle de production (GRAFCET fonctionnel).

Phase 2

- Définition de la partie opérative et des capteurs.

Parallèlement

- Etablissement du GRAFCET opérationnel de base

Phase 3

- Mise en oeuvre du guide graphique GEMMA pour la sélection des modes de marches et d'arrêts avec mise en évidence des liaisons entre ces modes.

Phase 4

- Définition à l'aide du GEMMA des conditions d'évolution entre les états de marches et d'arrêts

parallèlement

- Définition des fonctions du pupitre de commande.
- Etablissement du GRAFCET complété.

Phase 5

- Choix d'une technologie de commande : électrique, électronique ou pneumatique, câblée ou programmée...

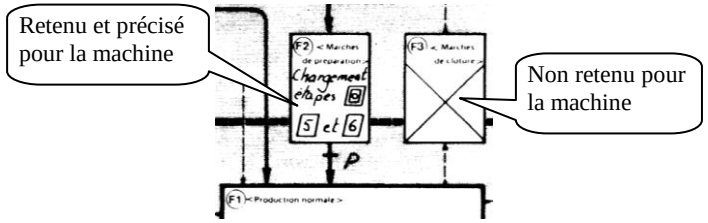
Phase 6

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

Sélection des modes de marches et d'arrêts.

a) Envisager tous les « rectangles-états » proposés par le GEMMA. Avec ses « rectangles-états », le guide graphique constitue une « check list » des différents types de modes de marches et d'arrêts nécessaires en automatisation industrielle courante. Pour une machine donnée, il est donc important d'examiner le cas de chaque « rectangle-état » :

- si le mode proposé est retenu, il sera précisé en « langage machine », dans le rectangle-état » ; au besoin, plusieurs variantes de ce mode seront distinguées;



- si le mode proposé n'est pas nécessaire pour la machine, une croix sera portée dans le « rectangle-état », pour bien signifier qu'il n'est pas retenu.

b) Rechercher les évolutions d'un état à l'autre. Deux états essentiels, définis dès le début de l'étude, se retrouvent sur toutes les machines

- l'état A1, dit < état initial > ou « état repos » de la machine,
- l'état F1, mode de < production normale >, pour lequel la machine a été conçue.

En parlant de chacun des deux états essentiels, A1 et F1, il est intéressant de rechercher Les évolutions vers d'autres états, dont la nécessité est moins évidente au premier abord.

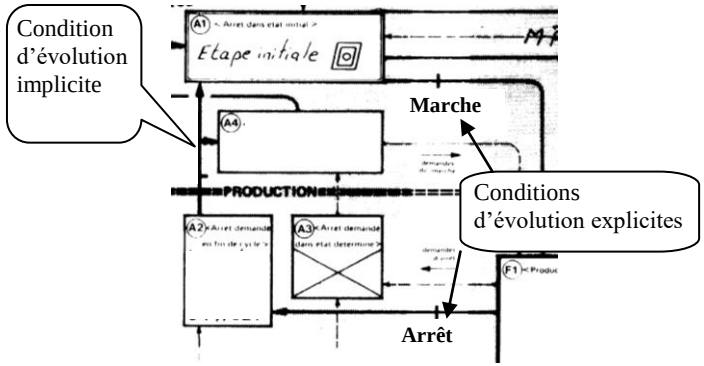
- On pourra commencer par réfléchir au démarrage de la machine, c'est-à-dire passer de A1 à F1, en se posant la question : une < marche de préparation > F2 est-elle nécessaire ?
- Comment arrêter la machine, au choix :
  - en fin de cycle → circuit F1→ A2→ A1
  - dans une autre position → circuit F1 → A3 → A4
- On examinera les cas de défaillance,
  - avec < Arrêt d'urgence >, D1
  - avec < Production tout de même >, D3.
- etc.…

Conditions d'évolution.

On peut passer d'un état à l'autre de deux manières :

1 Avec une condition d'évolution : elle est portée sur la liaison orientée entre états la condition peut être liée à l'action sur un bouton du pupitre de commande, ou à l'actionnement d'un capteur situé sur la machine.

2 Sans condition d'évolution : dans certaines évolutions entre états, l'écriture d'une condition n'apporterait aucune information utile c'est le cas lorsque celle-ci est évidente (exemple, passage de A2 à A1 ci-dessous), ou parce que l'état atteint dépend de l'intervenant.



Conclusion

Comme nous venons de le voir dans les exemples précédents, on peut apercevoir les conséquences de l'intervention du GEMMA dans la séquence d'étude de la machine.

- ✓ la machine est mieux conçue, donc sa réalisation et sa mise en route se font avec moins de tâtonnements et de modifications
- ✓ comme le GRAFCET, le GEMMA suivra ensuite la machine, facilitant les dépannages ou modifications.

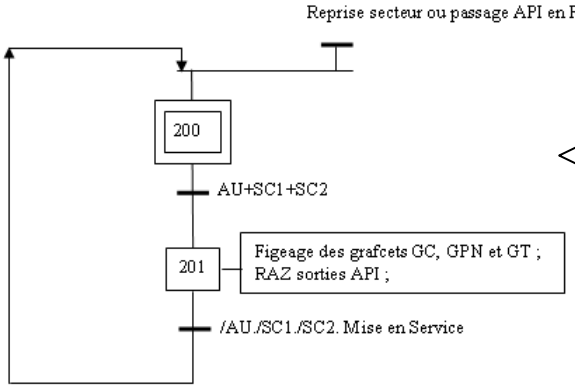
1.6) Représentation hiérarchisée de la P.C. induite par le GEMMA .

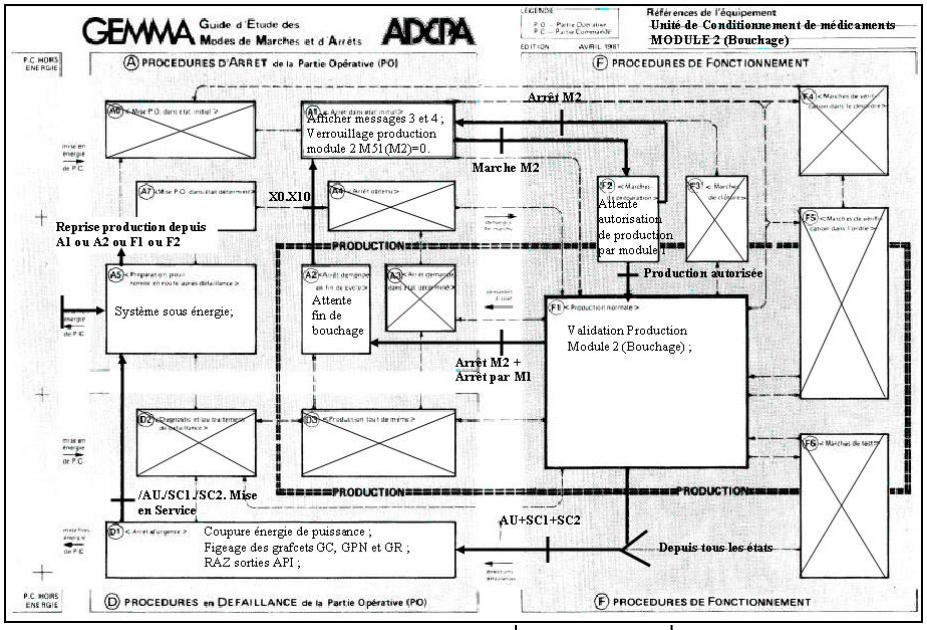
La P.C. peut alors être structurée en plusieurs niveaux hiérarchisés. La représentation la plus simple en utilise deux.

Exemple d'une structure hiérarchisée de P.C.

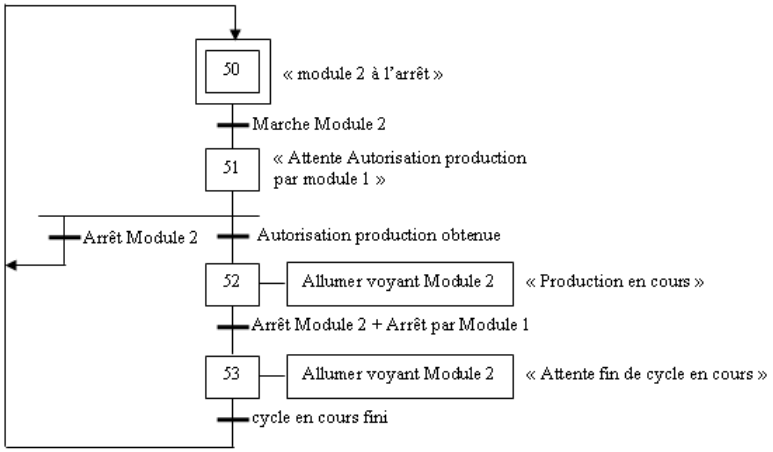
(structuration de la PC du module 2 machine Ravoux)

Grafcet de Sécurité:

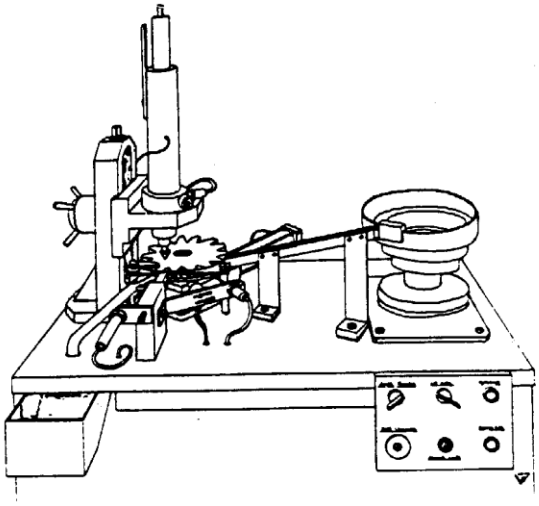




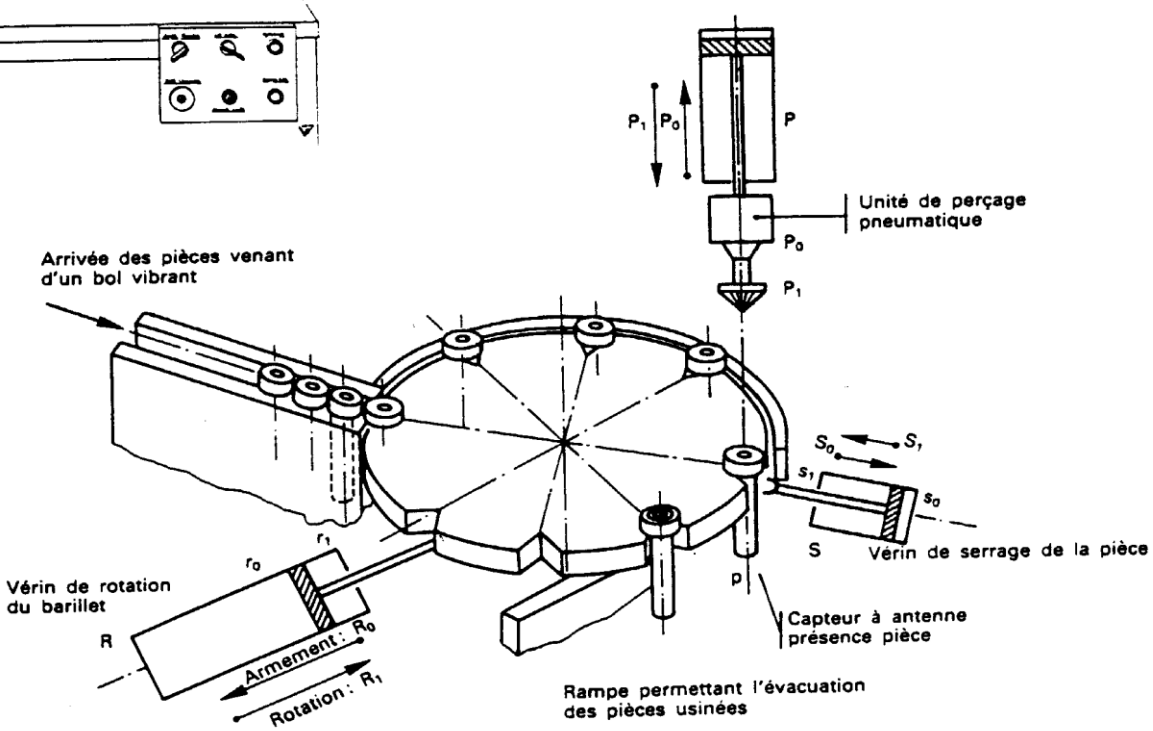
Grafcet de Conduite:

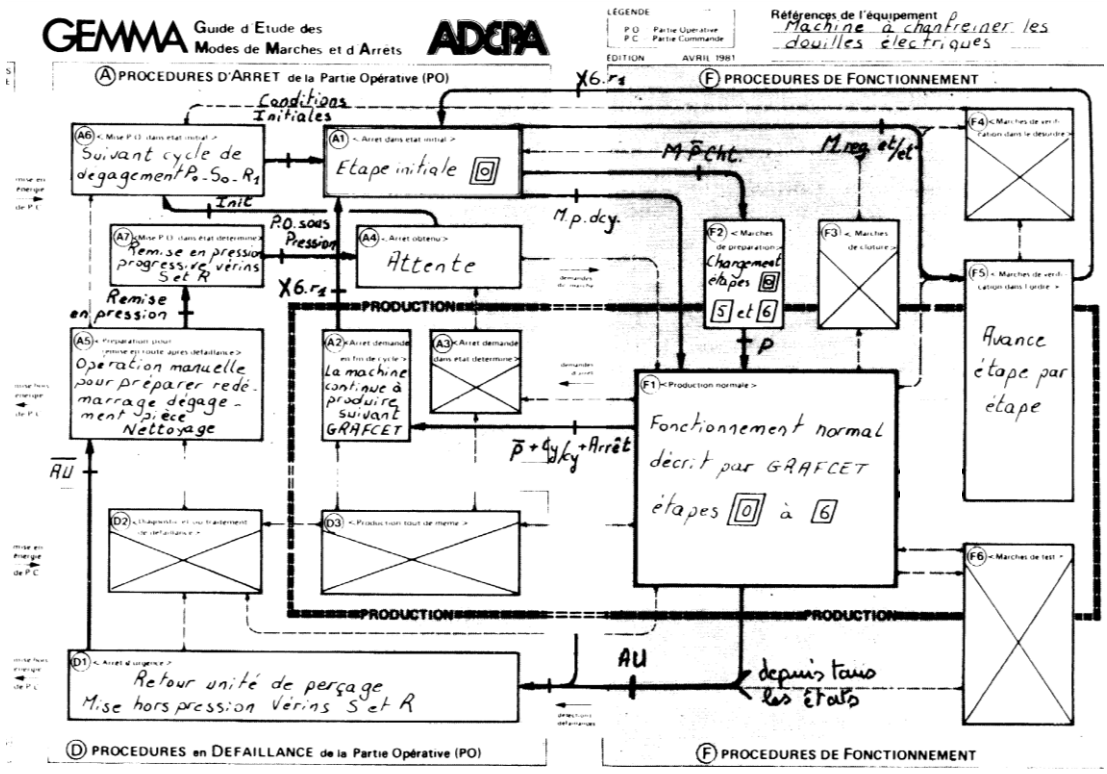


II) Exemple d'exploitation d'un GEMMA et de réalisation d'une PC Hiérarchisée



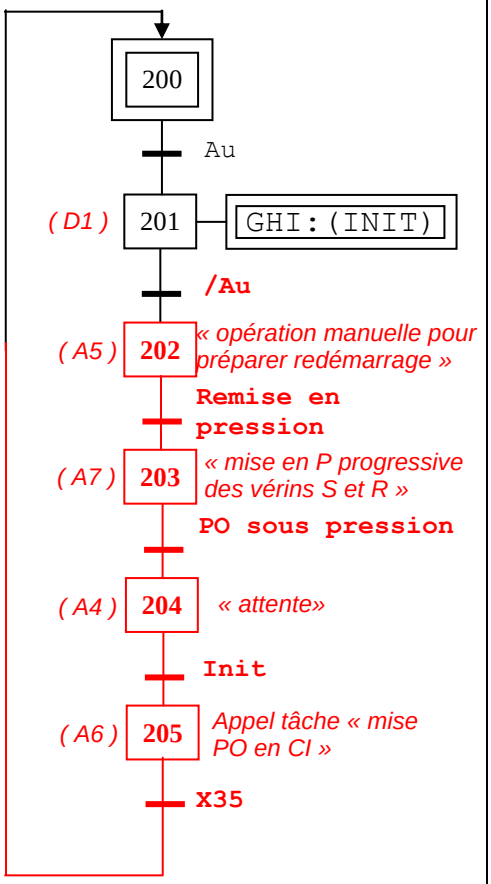
Machine à Chanfreiner des Douilles Eléctriques



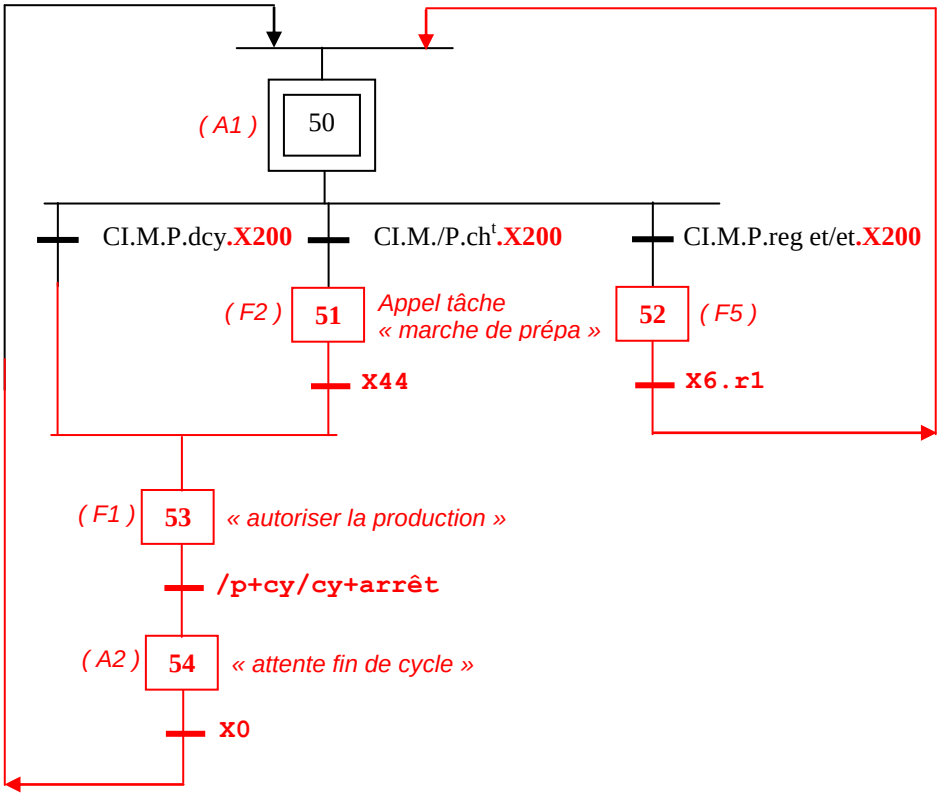


Réalisation des grafcets associés au GEMMA donné page 7

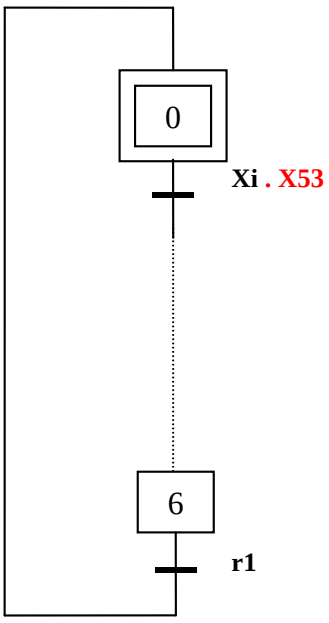
Grafcet de Sécurité



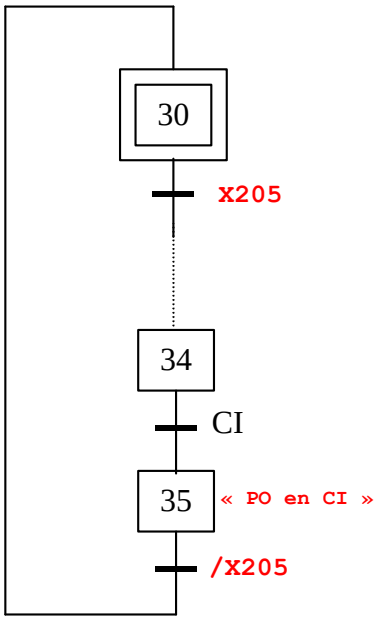
Grafcet de Conduite



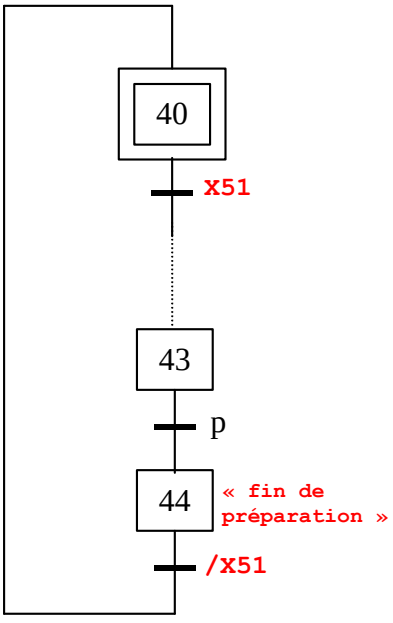
Grafcet de Production



Tâche « mise PO en CI »

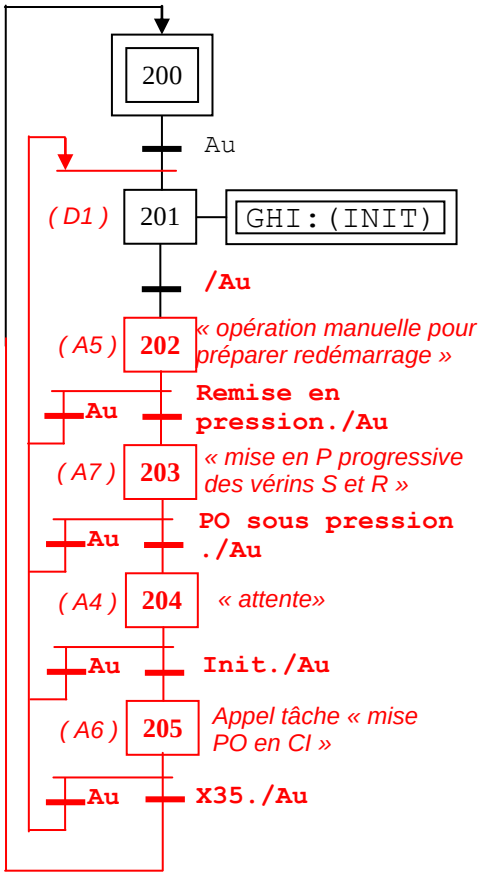


Tâche « marche de prépa »



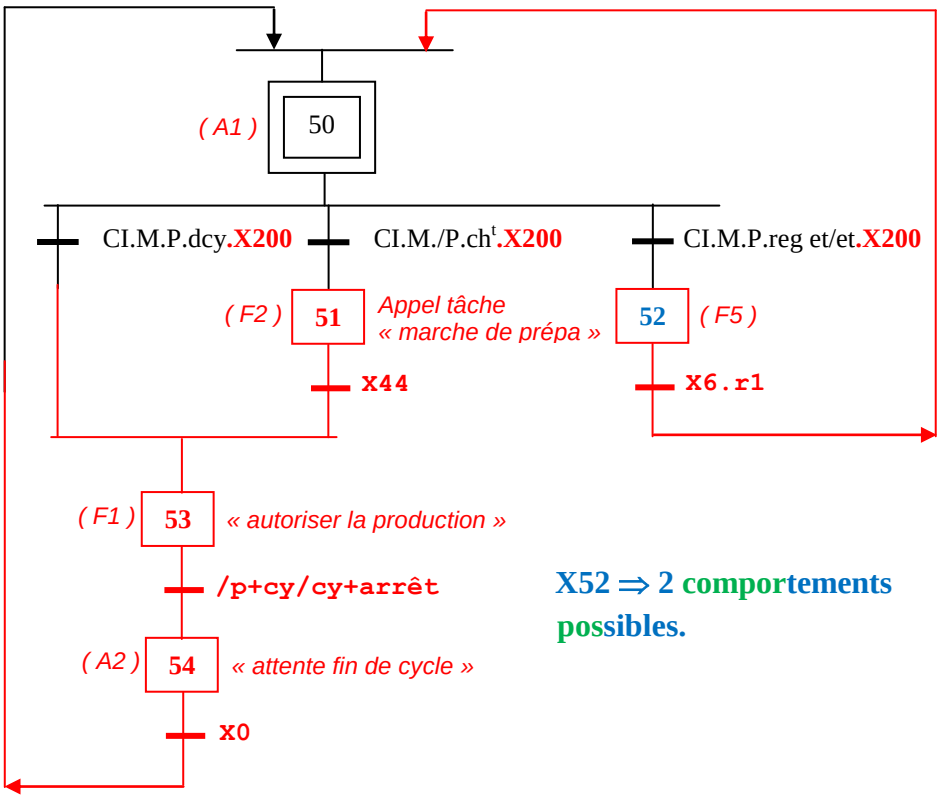
Réalisation des grafcets associés au GEMMA donné page 7 **en prenant en compte 'AU depuis tous les états'**

Grafcet de Sécurité



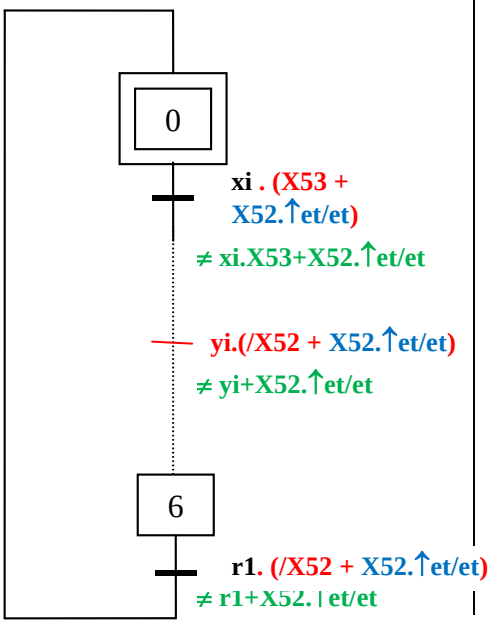
--< depuis tous les états « AU »

Grafcet de Conduite

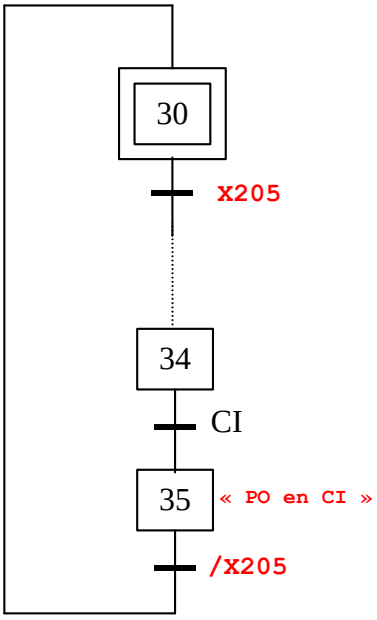


X52 ⇒ 2 comportements possibles.

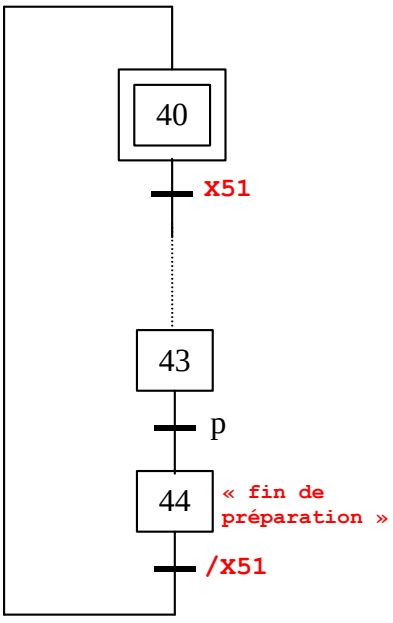
Grafcet de Production



Tâche « mise PO en CI »



Tâche « marche de prépa »



⇒ le passage d'étape à étape se fait avec prise en compte de chaque réceptivité (xi , yi , … r1)

≠ le passage ici se fait sans tenir compte de la réceptivité (xi , yi , … r1)

B. Sûreté des systèmes automatisés

I) Définition

Le concept de Sûreté caractérise le fonctionnement d'un système et repose sur deux critères qui sont :

- Un critère **de sécurité d'un point de vue des personnes, des biens et de l'environnement.**
- Un critère **de disponibilité.**

Remarque :

Il faut savoir que ces deux critères sont antagonistes et qu'il faut souvent effectuer un compromis privilégiant tantôt la sécurité, tantôt la disponibilité du bien selon les besoins de l'application et compte-tenu des risques jugés prioritaires.

II) Eventail des méthodes d'analyse de sûreté existantes

2.1 Présentation :

Il existe deux classes de méthode :

- Les méthodes déductives ou descendantes :

  Va du modèle vers les faits, du général vers le particulier
  En sûreté elle part des dangers ou effets redoutés pour aller jusqu'aux causes.
  Elle est bien adaptée lors de la conception des systèmes afin d'identifier les fonctions les plus critiques pour l'obtention des objectifs de sûreté.

➢ Les moyens à mettre en œuvre d'un point de vue PC seront abordés un peu plus loin (principe de sécurité positive, redondance, surveillance …)

- Les méthodes inductives ou ascendantes

  C'est l'approche inverse, en sécurité, on part des causes et on remonte jusqu'aux incidences et leurs effets.

Un échantillon des principales méthodes d'analyse de Sûreté utilisées dans le monde vous est présenté page suivante

Principales méthodes d'analyse de la sûreté (2)

Méthode	Source	Démarche	Eléments de départ	Outil de représent.	Types de résultats	Système	Domaine application	Lien entre méthodes	
								Amont	Aval
APR* ou APD*	USA-1960 Militaire	Inductive Qualitative	Entités dangereuses	Tableaux d'analyse	Liste situations-dangereuses	Réparable Statique	Chimie	Analyse fonction.	AMDE ou HAZOP
AMDE(C)*	USA-1960 Aéronautique	Inductive Qualitative	Modes de défaillance composants	Tableaux et grille	Répertoire classifié des défaillances	Réparable Statique	Système matériel essentiel	Analyse fonctionnelle et/ou APR	AEE, AdD, DDC
HAZOP*	RU-1970 Chimie	Inductive Qualitative	Paramètres mesurables	Tableaux	Répertoire des dérives	Réparable Statique	Chimie	APR	AdD, DDC
MAC(AdD)*	USA-1961 Aérospatial	Déductive	Evénement redouté (ER)	Arbre des causes	Coupes minimales de l'ER	Réparable Non séqu.	Processus non stoch.**	Méthodes inductives	GdM, RdP GRAFCET
MEE* ou GdM*	F-1976 USA-1950	Déductive Quantitative	Etats de fonctionnem et de panne	Graphes d'états	Différentes configurations de disponibilité	Réparable Dynamique	Processus markovien Petite taille	AMDE	AdD éventuel
DCC* ou MDCC*	DK-1970 Nucléaire	Mixte	Evénement initiateur	Diagr. causes-effets	Conséquences Coupes mini.	Statique	Processus non stoch.**	AMDE	
RdP* GRAFCET*	RFA-1962 F-1977 Automatique	Déductive Quantitative	Etats de fonctionnem et de panne	Graphes d'états	Modélisation des évolutions	Réparable Evolutif	Processus séquentiel automatisé	AMDE	GdM

* APD/APR = Analyse préliminaire des dangers/risques
AMDE(C) = Analyse des modes de défaillance, de leurs effets (et de leur criticité)
HAZOP = Analyse des conséquences et de la criticité des dérives des paramètres de conduite
MAC = Méthode de l'arbre des causes
AdD = Arbre de défaillances (ou arbre des causes)
MEE = Méthode de l'espace des états
GdM = Graphe de Markov
(M)DCC = (Méthode) Diagramme causes-conséquences
RdP = Réseau de Petri
** Processus non stochastique

(2) Tableau d'après :
E. Fadier "Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes, sous la direction de J. Leplat et G. de Terssac, OCTARES, 1990, et :
"Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels" par A. Villemeur, Eyrolles, 1988.

- L'outil d'analyse AMDEC vous est présenté en cours de Maintenance

2.2 Méthode de l'**A**rbre **d**es **C**auses (AdC) ou de l'**A**rbre **d**es **D**éfaillances (AdD) :

C'est une méthode déductive qui permet de représenter, de manière logique, l'enchaînement des causes nécessaires à la manifestation de la défaillance constatée (ou du danger redouté pour une analyse de sécurité).

- Voir cours de maintenance
- Application sur blocage grafcet (Exemple DOC-IV B22)
- Formalisme : voir DOC-IV AdC

Partant de la défaillance constatée, l'arbre des causes se construit de manière itérative ; identification des causes directes puis analyse détaillée des événements intermédiaires jusqu'aux causes premières.

2.3 Diagramme Causes Effets ou diagramme d'Ishikawa:

- Voir cours de maintenance

III) Technique de conception et de réalisation de systèmes Sûrs.

3.1 Objectif :

Obtenir un comportement sûr du système automatisé lors d'une défaillance.

3.2 Les Principes de base :

La **Prévention Intrinsèque** (suppression du risque) est toujours préférable à sa réduction.

En cas d'impossibilité les **solutions les plus simples et les plus directes sont toujours les meilleures**. Pour cela on s'attachera à appliquer :
Le principe **de sécurité POSITIVE qui est une sécurité orientée vers l'élimination du danger redouté.**

Par ailleurs, lorsque tout a été fait pour minimiser la probabilité de défaillance (fiabilisation), **trois grands principes** permettent de réduire les risques jusqu'au niveau requis afin d'atteindre la **Sûreté Totale :**

Le principe **de REDONDANCE qui permet de tolérer les défaillances et augmenter la disponibilité**
et/ou
Le principe **de SURVEILLANCE qui permet de fiabiliser la fonction.**

Ceci, quelque soit le point de vue (sécurité ou production)

Le principe de protection, qui reste le recours incontournable lorsque les risques ne peuvent pas être supprimés.

3.3 Solutions et moyens d'obtention de la sûreté.

Dans le cas ou le risque ne peut-être supprimé (prévention intrinsèque), on cherchera à orienter le comportement de l'entité dangereuse (chaîne d'action par exemple) selon le principe de sécurité positive ou de sûreté totale.

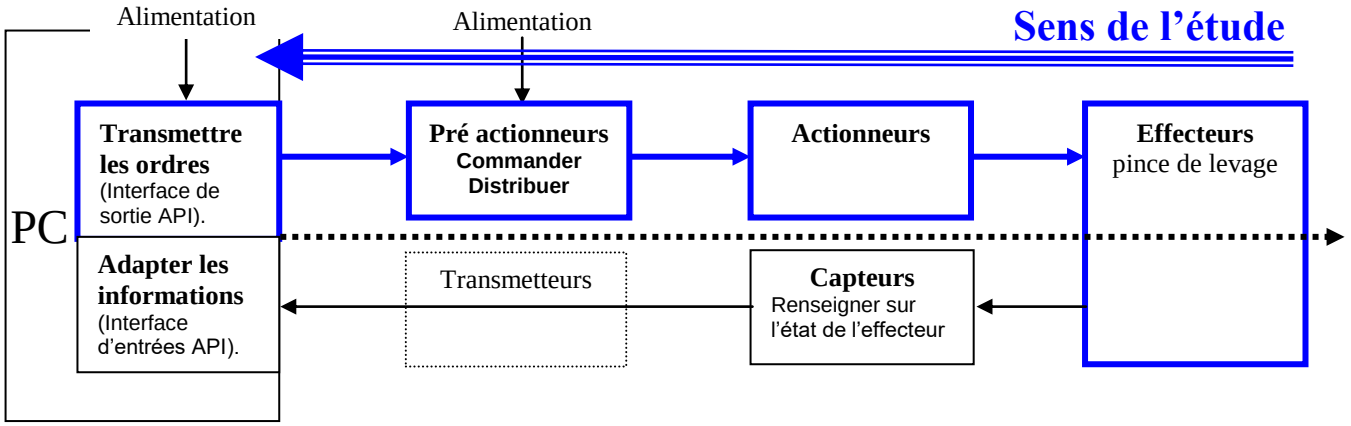
3.31 démarche d'étude :

- ❑ **Définir le comportement souhaité pour la fonction et son effecteur :**
  - Sécurité positive
  - Sûreté Totale
- ❑ **En déduire successivement le comportement à obtenir :**
  - Sur l'actionneur.
  - Sur le préactionneur.
  - Sur les sorties API.

  ….
- ❑ **Choisir des constituants à comportement orienté sur défaillance :**
  - Voir typologie des matériels de sécurité (DOC-IV B331)
- ❑ **Vérifier que votre solution garantit bien le comportement attendu.**

3.32 Exemple de comportement orienté vers la sécurité : **Sécurité Positive**.

Choisir les éléments de la chaine d'action ci-dessous pour une pince de levage qui au repos (non commandée) doit-être fermée.



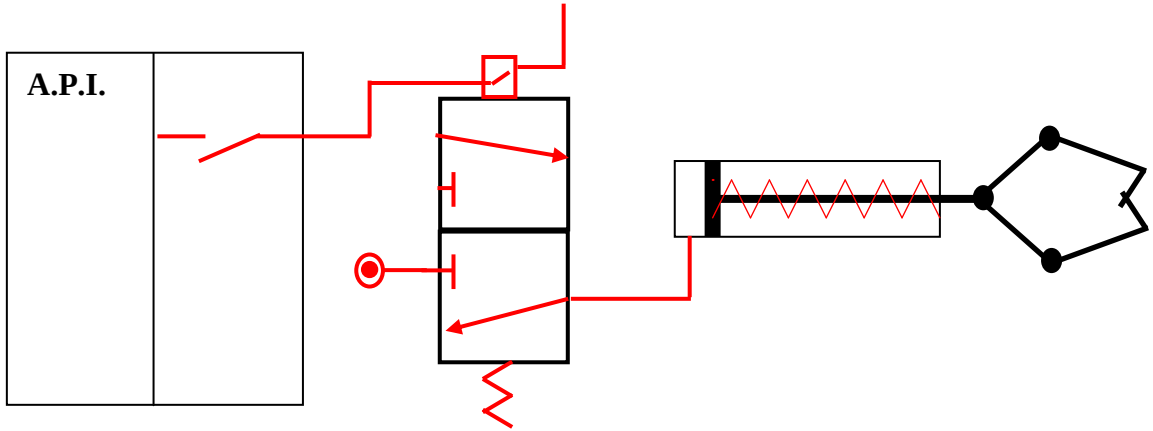
L'actionneur est pneumatique et a pour fonctionnement : tige rentrée = pince fermée.

La sécurité anti-relâchement en cours de levage impose un comportement orienté **vers la fermeture de la pince sur perte d'énergie.**

L'obtention de ce comportement sur défaillance conduit à retenir successivement :

- **Un actionneur Vérin simple effet afin d'assurer la fermeture de la pince sur perte d'énergie *(ici on prendra un vérin pneumatique simple effet tige rentrée au repos)***
- **Un pré actionneur monostable afin d'assurer sur défaillance la coupure de l'énergie de puissance de l'actionneur et donc la fermeture de la pince d'après le choix précédent, *(ici on prendra une distributeur 3/2, au repos à l'échappement)***
- **Un module de sortie API à contact normalement ouvert afin d'assurer sur défaillance la coupure de la commande du pré actionneur et donc la fermeture de la pince d'après les choix précédents.**

➢ réalisation du schéma fonctionnel :



Remarque :

Pour ouvrir la pince il faut absolument de l'énergie.

Ici toute défaillance provoque par sécurité la fermeture de la pince et le maintien de l'objet transporté.

3.4 Solutions et moyens redondants.

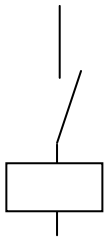
3.41 Rôle et utilité de la redondance

Il est parfois nécessaire de compléter la solution à défaillance orientée vue précédemment pour assurer une meilleure sûreté de fonctionnement.

a) Analyse des risques potentiels liés à l'utilisation d'un **contact à action mécanique NO** dans une chaîne fonctionnelle de sécurité, **orientée vers l'arrêt** du fonctionnement (coupure).

Modes de défaillances pénalisants pour l'obtention de la sécurité :

- ✓ **Collage des contacts**
- ✓ **Ressort de rappel cassé**
- ✓ **Autres défaillances internes**



Modes de défaillances pénalisant pour la disponibilité :

- ✓ **Ouverture intempestive du contact**

solutions redondantes possibles

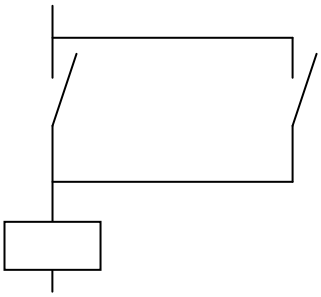
Ici la redondance est un moyen d'amélioration ?

- ☒ La sécurité
- ☐ Disponibilité

Justification :

Ici pour assurer l' arrêt et donc la sécurité, il suffit qu'un des deux contacts s'ouvre.

Par contre la disponibilité d'un point de vue production est réduite car on augmente la probabilité d'ouverture intempestive du circuit sur défaillance d'un des deux contacts et donc l'arrêt de la machine.



Ici la redondance est un moyen d'amélioration ?

- ☐ La sécurité
- ☒ Disponibilité

Justification :

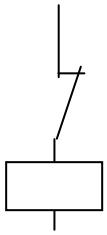
Ici une ouverture intempestive du circuit sur défaillance d'un des deux contacts n'engendrera pas d'arrêt de la machine.

Par contre pour assurer la sécurité il faut impérativement que les deux contacts s'ouvrent ; la sécurité s'en trouve donc diminuée car on augmente la probabilité de défaillance d'un des deux contacts.

b) Analyse des risques potentiels liés à l'utilisation d'un **contact à action mécanique NF** dans une chaîne fonctionnelle de sécurité, **orientée vers l'arrêt** du fonctionnement (coupure).

Modes de défaillances pénalisants pour l'obtention de la sécurité :

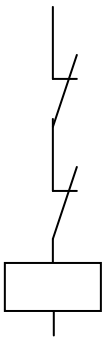
- ✓ **Contact non actionné :**
  - **Défaut d'alignement**
  - **Galet usé**
- ✓ **Autres défaillances externes**



Modes de défaillances pénalisant pour la disponibilité :

- ✓ **Ouverture intempestive du contact (actionnement non désiré)**

solutions redondantes possibles



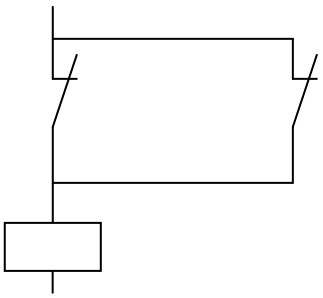
Ici la redondance est un moyen d'amélioration ?

- ☒ La sécurité
- ☐ Disponibilité

Justification :

Ici pour assurer l'arrêt et donc la sécurité, il suffit qu'un des deux contacts s'ouvre.

Par contre la disponibilité d'un point de vue production est réduite car on augmente la probabilité d'ouverture intempestive du circuit sur défaillance d'un des deux contacts.



Ici la redondance est un moyen d'amélioration ?

- ☐ La sécurité
- ☒ Disponibilité

Justification :

Ici une ouverture intempestive du circuit sur défaillance d'un des deux contacts n'engendrera pas d'arrêt de la machine.

Par contre pour assurer la sécurité il faut impérativement que les deux contacts s'ouvrent ; la sécurité s'en trouve donc diminuée car on augmente la probabilité de défaillance d'un des deux contacts.

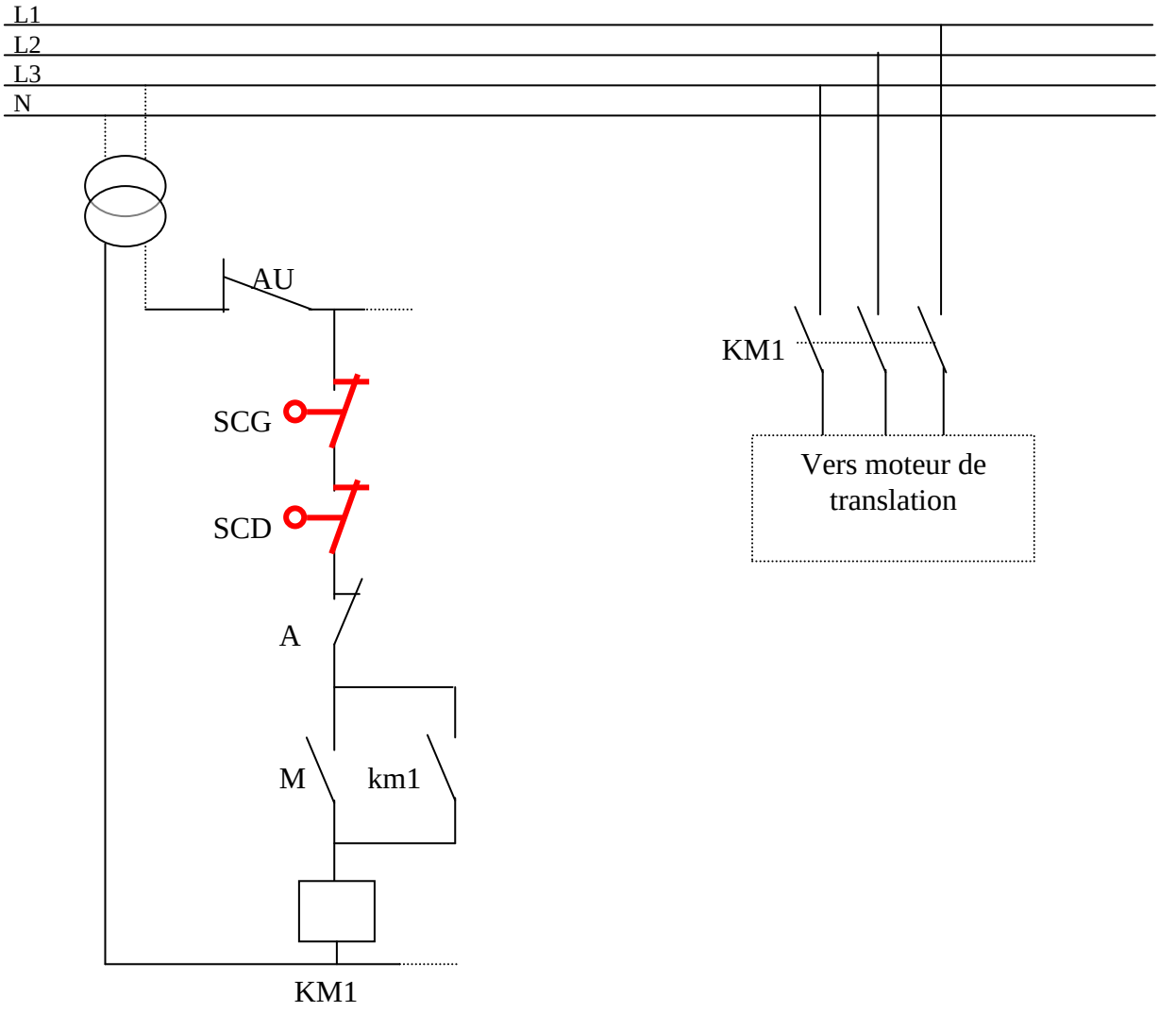
3.42 Synthèse :

Capteur de sécurité	Logique associée	Défaillance possible	prévision du risque
	**POSITIVE**	**Collage des contacts.** **Ressort de rappel cassé** **Autres défaillances internes.**	**Difficilement prévisible car interne au matériel**
	**NEGATIVE**	**Contact non actionné :** **Défaut d'alignement** **Galet usé** **Autres défaillances externes**	**Prévisible par mise en place d'une maintenance préventive systématique**

3.43 Conclusion :

Pour une application de sécurité on privilégiera des contacts à logique négative tout en mettant en place une politique de maintenance préventive systématique sur les organes de sécurité.

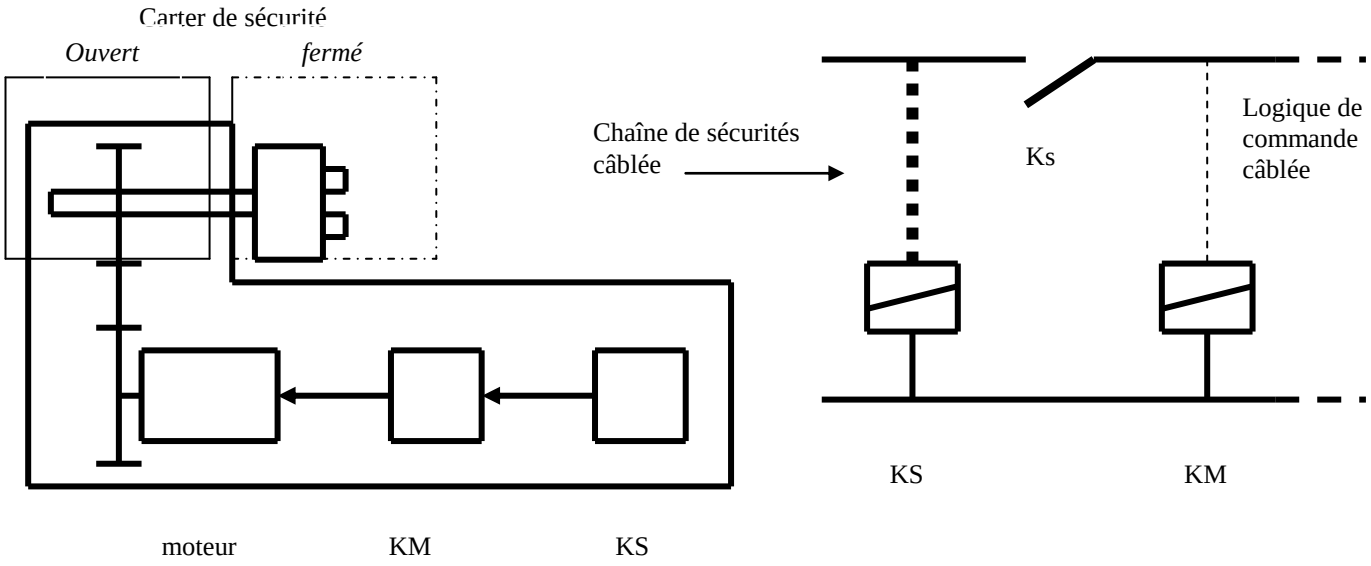
Exemple : Choix des sur courses mécaniques Droit et Gauche d'un moteur de translation :



3.5 La Redondance.

Concept dit « à tolérance aux fautes ». Une redondance peut concerner l'ensemble des moyens, tant techniques (matériel et ou logiciel) qu'humain.
Son principe réside dans la multiplication de certains composants, constituants, fonction, sous-système voire des systèmes eux mêmes.

3.51 Exemple de mise en œuvre « carter sur tour conventionnel » :



Risques

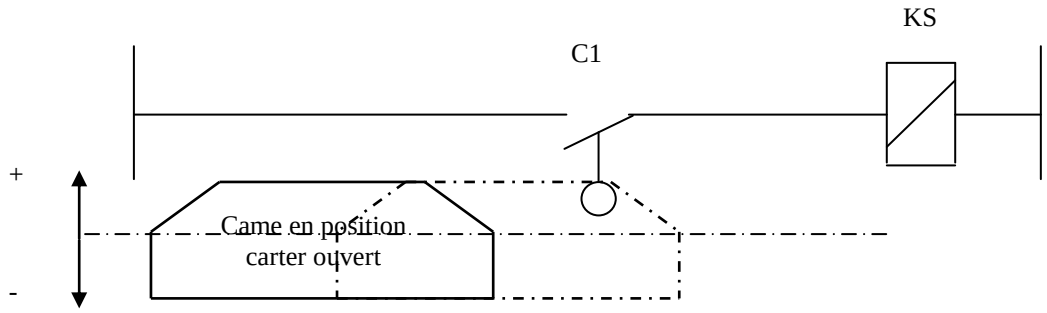
Mécaniques : entraînement de la main, du bras, cisaillement, arrachement, mutilation.

Types de défaillances possibles du système.

A* :*Le carter est fermé et le tour ne fonctionne pas (La disponibilité est affectée) :Risque A

B* :*Le carter est ouvert et le tour fonctionne (La sécurité est affectée) :Risque B

Solution N°1 : contact à fermeture (NO)

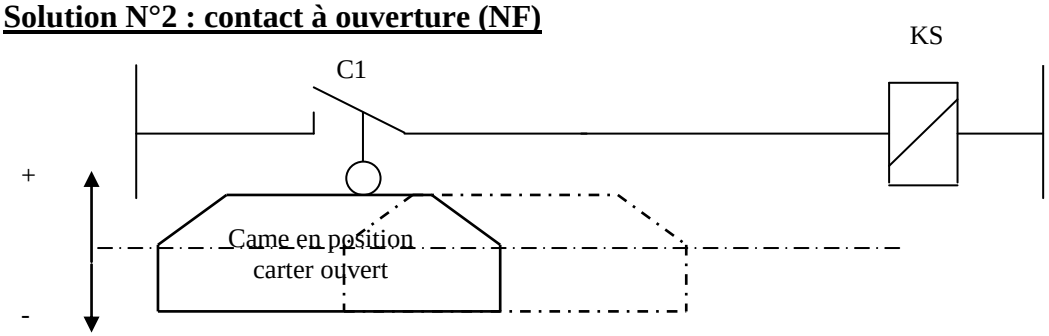


N°	Modes de défaillances possibles	Risque de défaillance	Effets induits KS	DANGER ?
1	*Contact C1 fermé (collage ou ressort cassé)*	*B*	**Bobine KS=1** ***Contact Ks=1***	***OUI***
2	*Contact Ks fermé (collage ou ressort cassé)*	*B*	***Contact Ks=1***	***OUI***
3	*Came déréglée en +*		**Bobine KS=0** ***Contact Ks=0***	***NON***
4	*Came déréglée en –*	*A*	***Bobine KS=0*** ***Contact Ks=0***	***NON***

Remarque sur la prévision des risques. **bilan : 2 risques B**

Ici on se rend compte que les défaillances liées à C1 qui engendrent un danger sont internes aux composants et ne peuvent pas être prévisibles.

Solution N°2 : contact à ouverture (NF)



N°	Modes de défaillances possibles	Risque de défaillance	Effets induits KS	DANGER ?
1	*Contact C1 fermé* ***(Galet usé car collage C1 IMPOSSIBLE par forçage mécanique)***	*B*	***Bobine KS=1 Contact Ks=1***	***OUI***
2	*Contact Ks fermé (collage ou ressort cassé)*	*B*	***Contact Ks=1***	***OUI***
3	*Came déréglée en +*		***Bobine KS=0 Contact Ks=0***	***NON***
4	*Came déréglée en -*	*B*	***Bobine KS=1 Contact Ks=1***	***OUI***

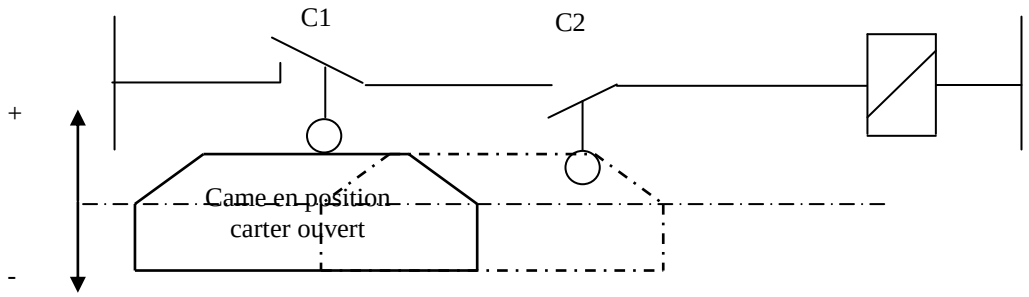
Remarque sur la prévision des risques. **bilan : 3 risques B**

Ici on se rend compte que les défaillances liées à C1 qui engendrent un danger sont externes aux composants et peuvent être prévisibles par la mise en place de visites préventives des constituants de sécurité.

On constate qu'il y a plus de risques B dans la solution n°2 que dans la solution n°1 mais leur mode de défaillance est différent (prévisible - non prévisible)

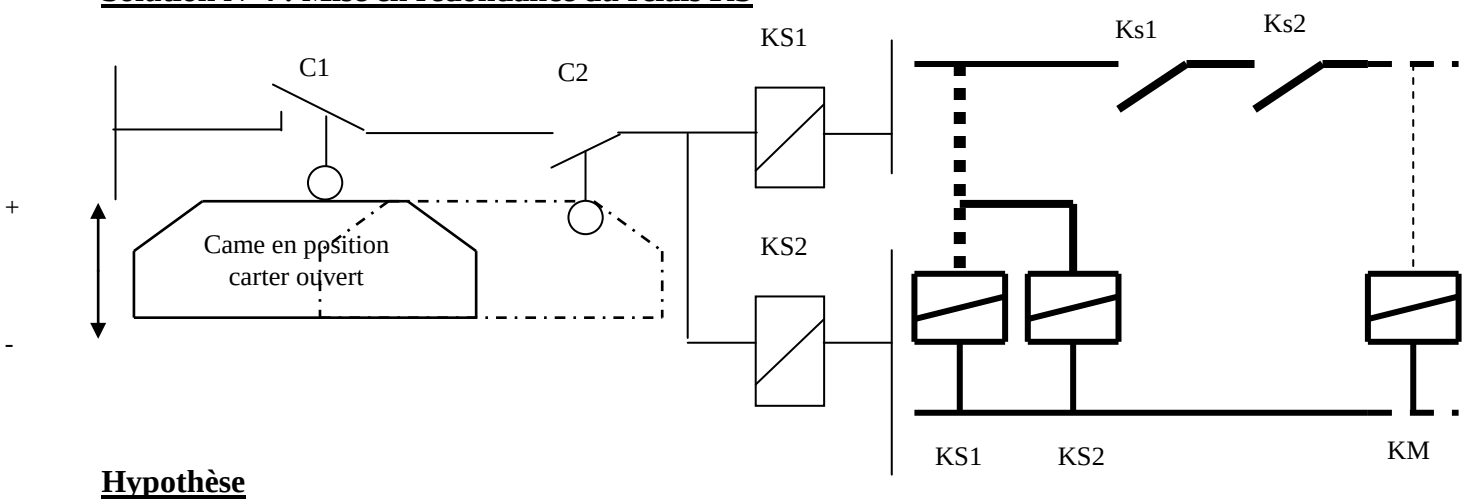
Solution N°3 : Montage NO - NF

KS



N°	Modes de défaillances possibles	Risque de défaillance	Effets induits KS	DANGER ?
1.1	*Contact C1 fermé **(Galet usé)*** *Contact C2 ouvert **(Galet usé)***	*A*	***Bobine KS=0*** ***Contact Ks=0***	***NON***
1.2	*Contact C1 ouvert**(ressort cassé)*** *Contact C2 fermé **(collage ou ressort cassé)***	*A*	***Bobine KS=0*** ***Contact Ks=0***	***NON***
2	*Contact Ks fermé (collage ou ressort cassé)*	*B*	***Contact Ks=1***	***OUI***
3	*Came déréglée en + : Contact C1 ouvert* *Contact C2 ouvert*		***Bobine KS=0*** ***Contact Ks=0***	***NON***
4	*Came déréglée en - : Contact C1 fermé* *Contact C2 ouvert*	*A*	***Bobine KS=0*** ***Contact Ks=0***	***NON***

Solution N°4 : Mise en redondance du relais KS



Hypothèse

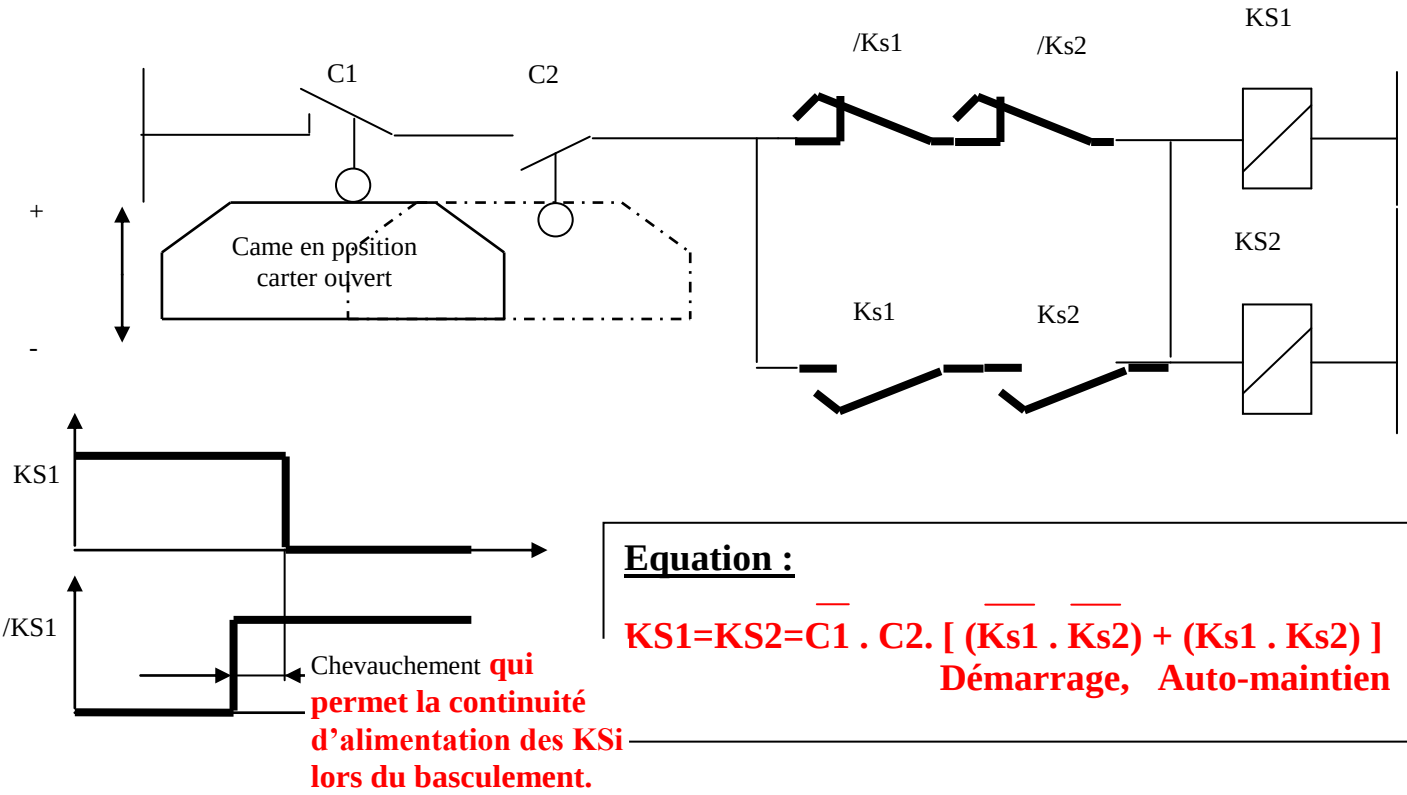
Pas de défaillances simultanées .
Ici les contacts des deux relais ne peuvent pas se coller en même temps.

N°	Modes de défaillances possibles	Risque de défaillance	Effets induits KSi	DANGER ?
1.1	*Identique à l étude précédente*	*A*	KS1=0,KS2=0	NON
1.2	*Identique à l étude précédente*	*A*	*KS1=0,KS2=0*	*NON*
2.1	*Contact Ks1 fermé (collage ou ressort cassé)* *Contact Ks2 ouvert*	***Pas de risque immédiat et continuité de service assurée***	***KS1=0, Ks1=1*** ***KS2=0, Ks2=0***	***NON***
2.2	*Contact Ks1 ouvert* *Contact Ks2 fermé (collage ou ressort cassé)*	***Pas de risque immédiat et continuité de service assurée***	***KS1=0, Ks1=0*** ***KS2=0, Ks2=1***	***NON***
3	*Identique à l étude précédente*		*KS1=0,KS2=0*	*NON*
4	*Identique à l étude précédente*	*A*	*KS1=0,KS2=0*	*NON*

Remarque

ATTENTION ! *Si l'un des deux contacts Ks1 ou Ks2 reste collé l'opérateur n'en a pas connaissance , le défaut reste « dormant ». On revient à la solution N° 3*

Solution N°5 : Montage avec auto-contrôle (emploi de contacts à chevauchement)



Equation :

$$KS1 = KS2 = \overline{C1} \cdot C2 \cdot [\,(\overline{Ks1} \cdot \overline{Ks2}) + (Ks1 \cdot Ks2)\,]$$

Démarrage, Auto-maintien

N°	Modes de défaillances possibles	Risque de défaillance	Effets induits KSi	DANGER ?
1.1	*Identique à l étude précédente*	*A*	*KS1=0,KS2=0*	*NON*
1.2	*Identique à l étude précédente*	*A*	*KS1=0,KS2=0*	*NON*
2.1	*Contact Ks1 collé* *Contact Ks2 ouvert*	*A*	*KS1=0, Ks1=1* *KS2=0, Ks2=0*	***NON****
2.2	*Contact Ks1 ouvert* *Contact Ks2 collé*	*A*	*KS1=0, Ks1=0* *KS2=0, Ks2=1*	***NON****
3	*Identique à l étude précédente*		*KS1=0,KS2=0*	*NON*
4	*Identique à l étude précédente*	*A*	*KS1=0,KS2=0*	*NON*

****La machine ne redémarre pas***

CONCLUSION : REDONDANCE + AUTO-CONTRÔLE = SECURITE

3.52 Caractérisation de la redondance.

Généralement, une redondance est caractérisée par un doublet noté **m/n** ;
avec :

m = **le nombre d'éléments, de chaînes d'action ou d'unités simultanément actives ou opérationnelles à un instant t.**

et

n = **le nombre de duplications effectuées (2,3 … éléments, chaînes d'action ou unités)**

suivi d'un ensemble d'attributs qui peuvent être :

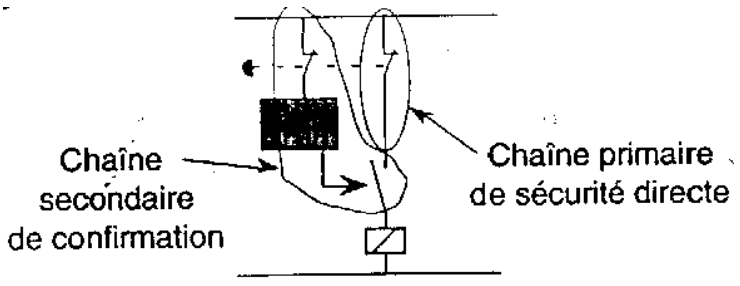
- Son principe qui est fonction du besoin de Sûreté ;
  - **Active** **si tous les moyens redondants sont en action simultanément.**

  ou
  - **Passive** **si seulement une partie des moyens redondants est en fonctionnement, le reste étant utilisé qu'en cas de défaillance des premiers**
- Son caractère technologique ;
  - **Homogène** **si les technologies redondantes utilisées sont de même nature (ex : 2 capteurs identiques)**

  ou
  - **Hétérogène** **si les technologies redondantes utilisées sont de nature différentes.**
- La nature des moyens utilisés ;
  - **Matérielle** **si la redondance est matérielle.**

  ou
  - **Logicielle** **si la redondance est logicielle.**
- etc…

➢ Exemple de redondance 2/2 active hétérogène (logicielle et câblée) :



➢ Exemples de mise en œuvre redondante sur tout ou partie d'une production industrielle : cf. DOC-IV B352

3.53 Solution juste nécessaire aux besoins de Sûreté.

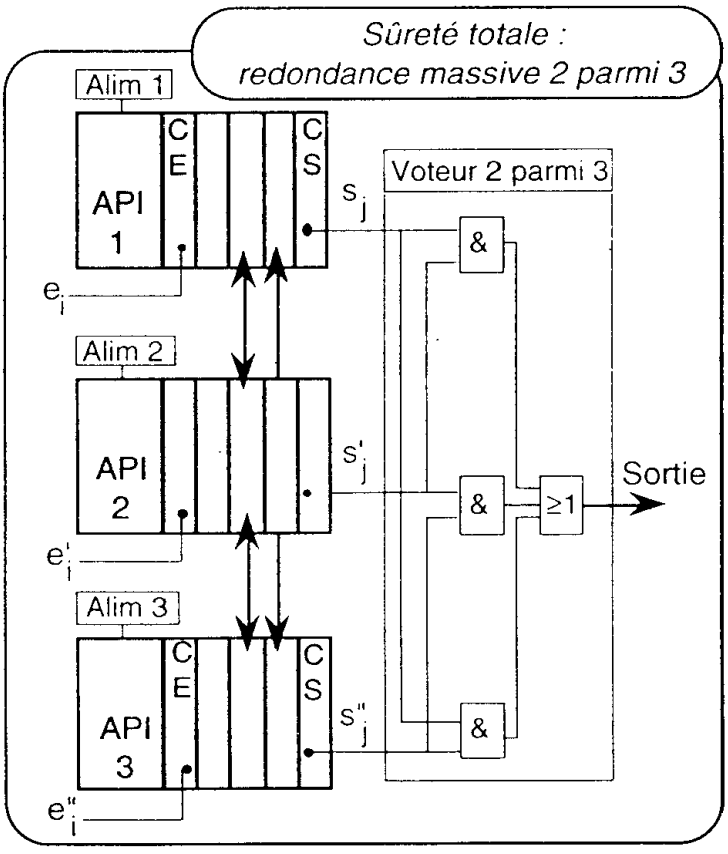
A chaque besoin de Sûreté doit correspondre une solution de redondance appropriée :

Besoins de sûreté	Solution juste nécessaire
Disponibilité seulement avec état transitoire toléré.	Redondance **PASSIVE 1 /2**
Sécurité orientée seulement.	Redondance **ACTIVE 2/2**
Sécurité orientée et disponibilité améliorée*.	Redondance **ACTIVE 2/2 + Diagnostic Intégré qui permet parfois* de réparer en temps masqué. * les modules de sécurité de type « PREVENTA » peuvent interdire toute utilisation de la machine tant que la ligne de sécurité en défaut n'a pas été réparée.**
Sûreté Totale	Redondance **2/3**

*Remarque 1 :

La mise en œuvre de solutions redondantes en vue d'améliorer la sûreté théorique de fonctionnement doit-être complétée par une surveillance adéquate des chaines redondante afin de ne pas dégrader la sûreté réelle de la machine.

- Exemple de redondance 2/3 avec voteur ; Sûreté Totale que l'on retrouve que sur des éléments très critiques (sécurité nucléaire par ex.) ou qui ne peuvent pas être réparé durant leur vie (satellite par ex.) :



Sortie = Sj.S'j + S'j.S''j + Sj.S''J

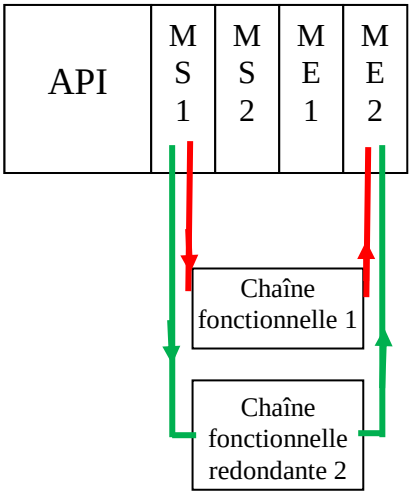
Voteur à vote majoritaire c-à-dire qu'il faut aux moins 2 sorties / 3 qui soit en concordance pour acquitter l'ordre.
Le coût d'un tel dispositif est important et nécessite une maintenance plus rigoureuse sur les éléments de mode commun ou une fiabilité irréprochable (cas du voteur qui se « maintien » pas car circuit électronique)

Remarque 2 :

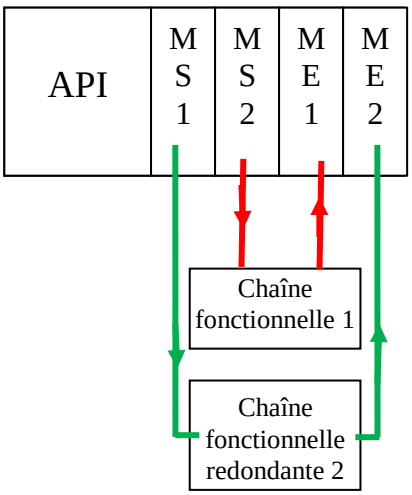
Il faut faire très attention aux modes communs de défaillance (les sources d'énergie, les nœuds de sécurité …) qui peuvent affecter toutes ou parties du système concerné.

les modules d'E/S devien-nent panne de mode commun ⇒ nœud de sécurité

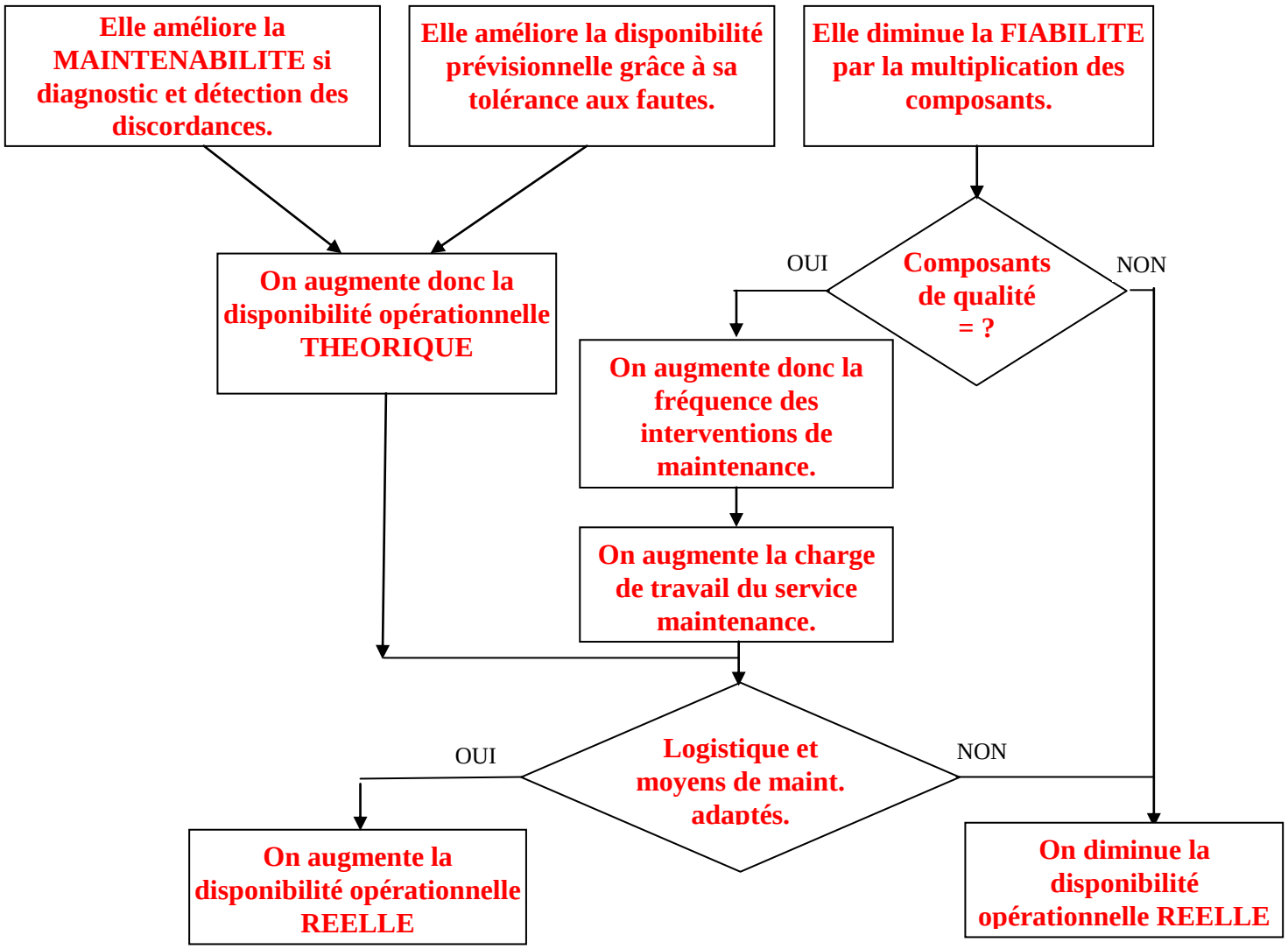
à éviter



à privilégier



3.43 Organigramme de synthèse sur la redondance.



3.6 Quelques concepts de surveillance.

3.61 Le concept de **Dynamisme.**

C'est un procédé de test de vie d'un composant pour minimiser les défaillances à la sollicitation.
En effet, toute fonction non utilisée régulièrement présente le risque d'être indisponible au moment de sa sollicitation (on appelle cela : panne dormante ou latente).
La meilleure façon de savoir si elle est encore disponible est de la mettre en action périodiquement ; c'est ce qu'on appelle le « Test de vie »

- **Test de vie passif : C'est l'observation dans un intervalle de temps définit (temps enveloppe) de la permanence d'un état (ou d'une valeur) qui aurait du normalement changer.**
  Exemple : principe de « l'homme mort » (conducteur de train)

- **Test de vie actif : Il est principalement utilisé pour le test de vie des chaînes fonctionnelles de sécurité et consiste :**
  - **A exécuté réellement la fonction *;(aller sur un surcourse pour le tester par ex)***
  - **A initié le lancement de la fonction sans effet réel sur le système *;(cde haute fréquence d'une bobine de commande par exemple)***

3.62 Le concept de **Discordance.**

Une discordance peut-être définie comme une incohérence logique entre un fonctionnement attendu et un fonctionnement observé.
Ce concept est largement utilisé pour effectuer un diagnostic, lancer une procédure de sécurité.

- **Discordance temporelle sur temps enveloppe : Ce principe peut s'appliquer à des grandeurs continues ou logiques pour détecter, dans un intervalle de temps donné, soit l'absence d'une évolution attendue, soit au contraire une évolution intempestive.**

- **Discordance logique : Elle est basée sur une comparaison entre plusieurs grandeurs, soient normalement corrélées (c'est une discordance de coïncidence), soient au contraire normalement différentes ou exclusives (c'est une discordance d'antivalence).**

Exemples : cf. DOC-IV B362

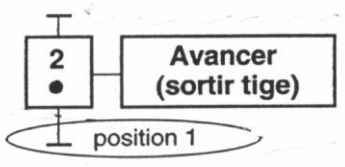
Remarque : Exemple de discordance d'état sur erreur de poursuite (εp) dans un asservissement :

$$|S - c| > \varepsilon p$$

Sortie - consigne

DOC-IV B22

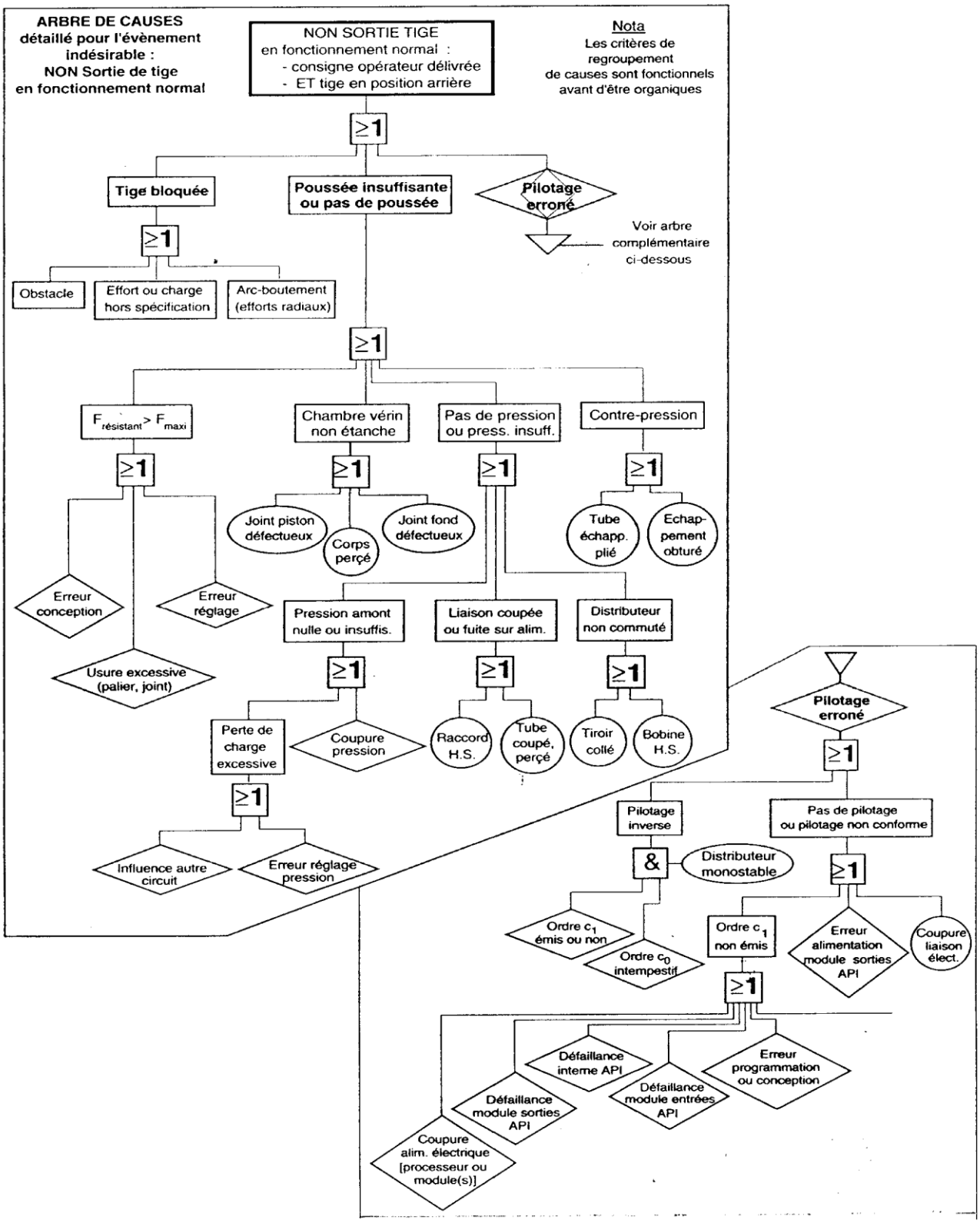
Exemple d'un grafcet bloqué à une étape:



Les causes probables de pannes sont liées :
à la réceptivité de la transition validée par l'étape 2
ou à la chaine d'action permettant le passage à « 1 »
de cette réceptivité

Ici, après observation du technicien, ce dernier s'aperçoit que la tige du vérin incriminé n'est pas sortie.

Représentation de l'AdC « non sortie de tige du vérin »:



DOC-IV AdC

Arbre Des Causes

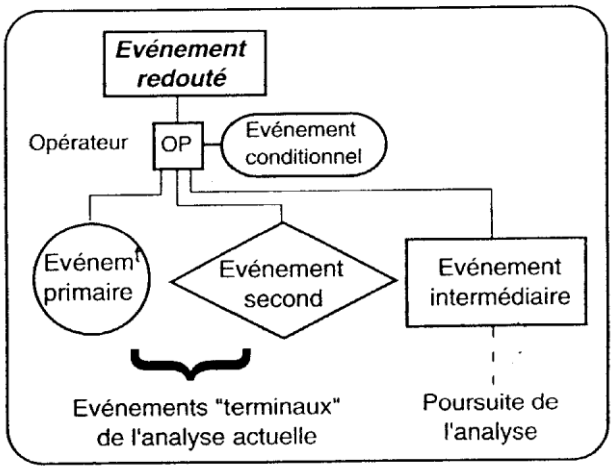
C'est une méthode déductive, c'est à dire qui part du contexte général et qui va vers les éléments en particulier.

Méthodologie

En premier lieu, on détermine quelle est la panne sur laquelle va porter l'étude. Ensuite, on va chercher les combinaisons logiques des événements jugés responsables.

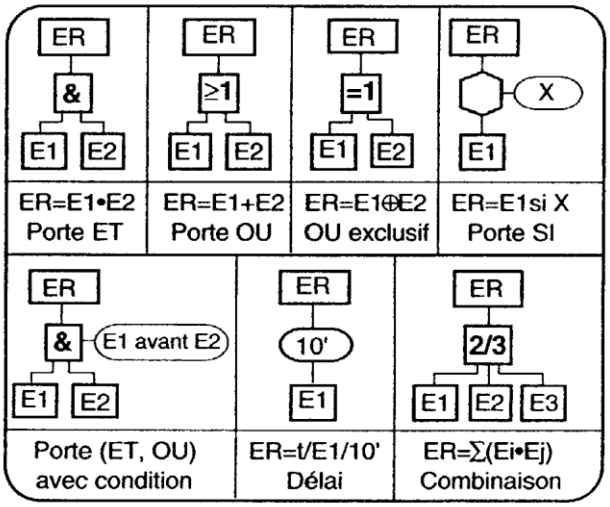
Formalisme

Agencement des éléments graphiques d'un AdC

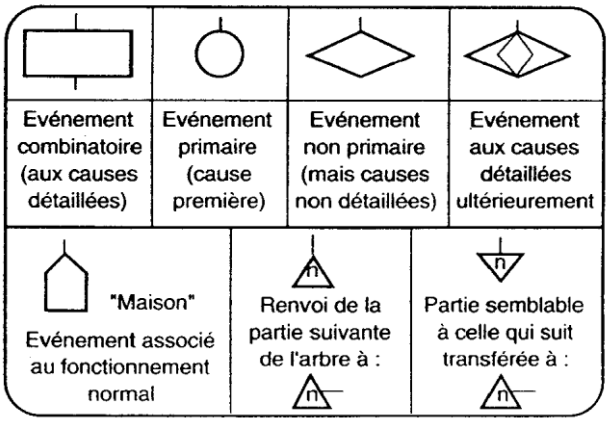


Evénement primaire : l'effet de la cause est lié directement à la défaillance *(ex :un voyant ne s'allume pas parce que la lampe et hors service)*
Evénement secondaire : l'effet de la cause est lié directement ou indirectement à une défaillance d'un autre composant ou de l'opérateur *(ex :pas de pilotage d'un distributeur suite à la défaillance de la sortie API)*
Evénement intermédiaire : l'effet de la cause est lié directement ou indirectement à une défaillance dont l'origine doit être recherchée en remontant à ses causes premières ou secondes.

Principaux opérateurs logiques:

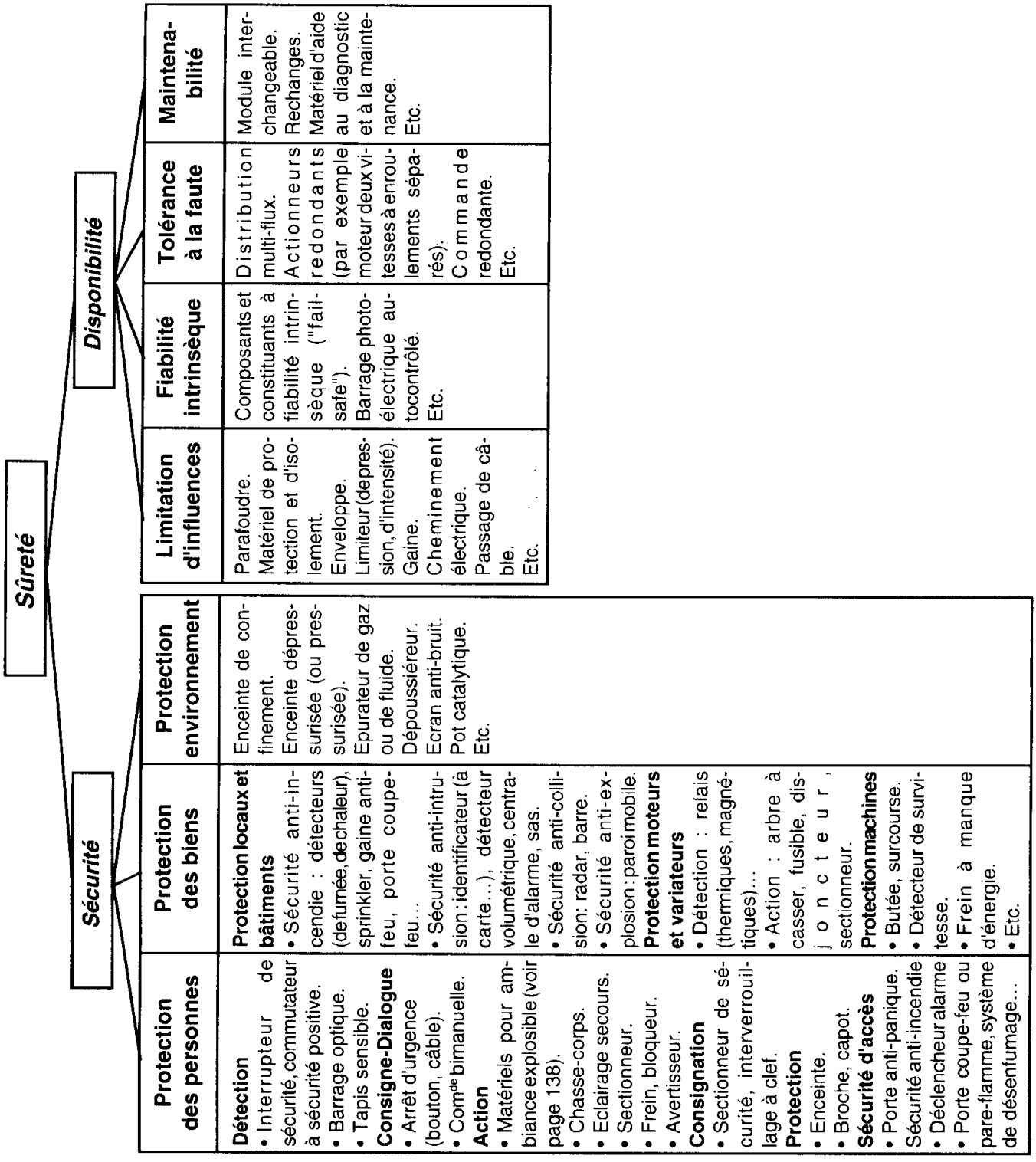


Principales représentations d'événements:



DOC-IV B331

TYPOLOGIE DES MATERIALS DE SECURITE



DOC-IV B352

Exemples de mise en œuvre de solutions redondantes pour les différents points de vue

La redondance peut porter sur tout ou partie de la production, du procédé, du processus, de la partie opérative, de la partie commande ou des moyens d'exploitation et de maintenance. La figure ci-dessous en illustre quelques exemples, pour chacun des points de vue.

Produit

Production

- Redondance des unités de production
  - Usine A
  - Usine B
- Diversification des approvisionnements
  - Fournisseur A
  - Fournisseur B

Procédé

Processus

- Redondance globale lignes de production
- Redondance locale de moyen critique
- Redondance sélective hétérogène (procédure: auto-manu)
  - Auto
  - Manu
  - Auto
  - Manu
- Redondance locale alim.
  - Réseau
  - A
  - M
  - Utilisation

Partie opérative

- Redondance effecteur ou chaîne fonctionnelle
  - Circuit A
  - Circuit B
- Redondance actionneur
  - M1
  - M2
- Redondance sélective capteur
  - Deux capteurs de niveau
  - Détecteur fixe
  - Détecteur embarqué

Partie commande

- Redondance massive 2/3 avec voteur
  - 2/3
- Redondance massive 2/2
  - Comparateu
- Redondance passive 1/2
  - Commutateur
- Redond. active sélective hétér.
- Redondance logicielle
  - L1
  - L2
  - C

Réalisation Mise en service

- Logiciel réalisé par deux équipes différentes
- Redondance des équipes de conception et de réalisation (test de la documentation)
- Diversification des fournisseurs (source multiple)

Exploitation Maintenance

- Redondance fonctionnelle des équipes d'exploitation-maintenance (fonction de la redondance des unités ou des lignes)
- Séparation des équipes d'exploitation et de réalisation
- Stocks rechanges (redondance passive)
  - M

DOC-IV B362

Exemples de DISCORDANCE "LOGIQUE"

Discordance d'antivalence

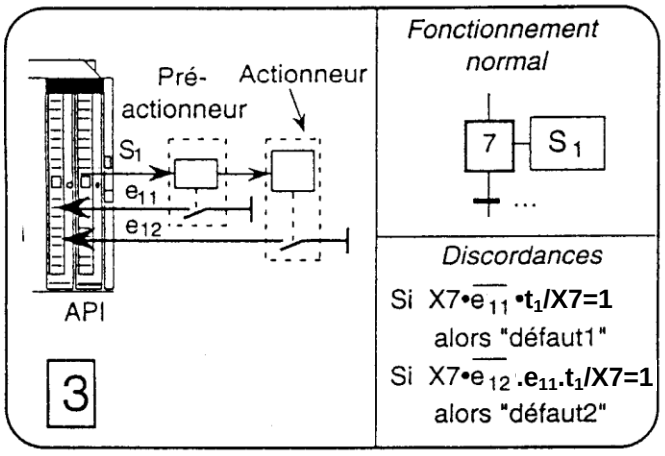
L'antivalence est un procédé de recherche de discordance par redondance complémentaire à partir, par exemple, soit de deux capteurs différents, soit de contacts N.O. et N.F. d'un même capteur.
Pour s'affranchir des aléas d'asynchronisme il est recommandé de valider la discordance par une temporisation (figure 1, ci-contre) ou sur deux cycles de traitement.

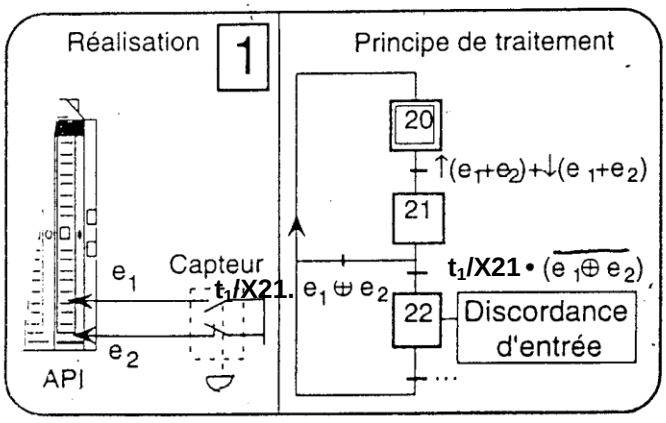
Discordance d'informations

Ce procédé exploite l'exclusion physique normale entre l'état logique de capteurs dans des situations définies pour tester leur bon fonctionnement (voir figure 2).

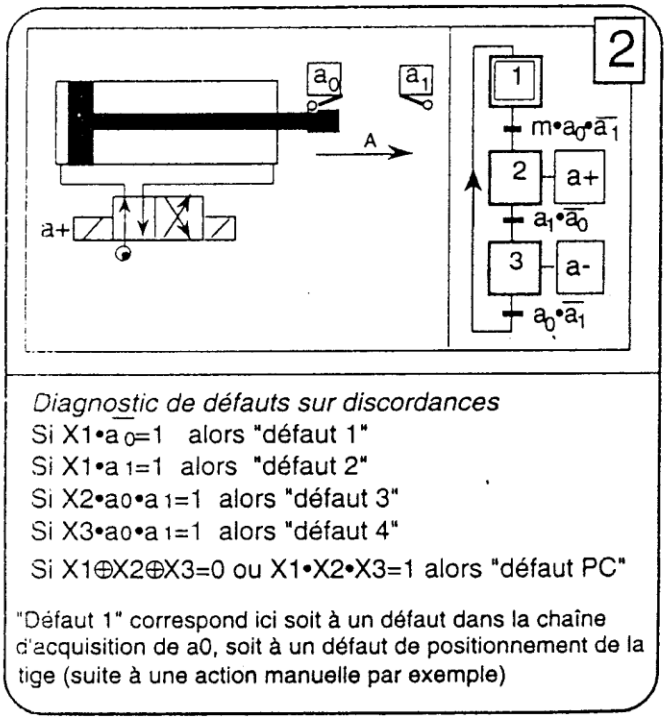
Discordance de commande ou discordance d'action

Ce procédé de surveillance des chaînes d'action exploite un retour d'état du préactionneur ou du capteur pour tester une éventuelle discordance avec l'ordre émis. (voir principe, figure 3 ci-dessous).





Discordance et antivalence d'entrées.



Discordance et exclusion physiques d'états.

Autres discordances

- Discordance de combinaisons logiques autorisées (informations sur mots, combinaisons d'un code).
- Discordance de situations de graphes (situation atteinte incompatible avec le fonctionnement normal).