95-28

VILLENEUVE DE JANTI, Philippe ; DURKA, Jean-Luc
INERIS

Exigences techniques pour les systèmes dédiés à la sécurité comme définies dans les projets de normes actuelles

Résumé : L'INERIS joue un rôle actif dans les travaux des comités de normalisation internationale, portant sur les systèmes électroniques programmables utilisés pour assurer la sécurité des machines et des installations. Il est ainsi possible d'apporter des conseils et des réponses aux questions des exploitants aussi bien que des constructeurs d'équipements. Des procédures de validation du niveau d'intégrité de ces systèmes ont été élaborées et s'appuient sur ces travaux en y intégrant leur orientation prévisible. Les auteurs font le point sur la normalisation actuelle et l'application des exigences de sécurité à l'évaluation de l'automate programmable, L'APRIL 5000S d'AEG SCHNEIDER Automation.

Abstract : INERIS takes a part in the international committees of standardization, busy with programmable electrical systems, used to ensure the safety of machines and installations. It is thus possible to provide advices and to inform process operators and manufacturers of equipments. Validation procedures of their safety integrity level have been elaborated and are based on these works. The authors present their view on current standardization progress ; they apply the corresponding safety requirements to the evaluation of a safety-related programmable logic controller, the APRIL 5000S of the AEG SCHNEIDER Automation company.

I Introduction

Actuellement, les fabricants d'automates programmables industriels dédiés à la gestion de fonctions de sécurité, soumettent leur produit à des organismes indépendants pour faire valider les performances de leurs systèmes. Cette démarche, non-obligatoire, est cependant motivée par une demande des grands donneurs-d'ordre qui souhaitent connaître le niveau de sécurité atteint par ces produits.

Automation 95, Paris, 16-18 mai 1995

Il n'y a pas de référentiels bien établis sur lesquels s'appuyer. Cependant, des projets de norme sont en cours d'élaboration, notamment aux niveaux allemand, européen et international, à savoir :

- Measurement and control - Fundamental safety aspects for measuring and control protective equipment, DIN V 19250 et DIN V 0801.

- Safety of Machinery ; Safety related parts of control systems ; Part 1 : General principles for design, Part 2 : Validation, Pr EN 954-1 et EN 954-2.

- Draft IEC 1508 : Functional safety : safety-related systems,

Pour déterminer les exigences de sécurité, il est nécessaire de définir la classe d'exigence, en fonction du domaine d'utilisation et des risques encourus.

Pour être pragmatique, nous allons considérer un process industriel de la chimie ou de la pétrochimie, et effectuer une analyse des risques au regard des trois référentiels précités. Puis, nous en déduirons les exigences techniques applicables.

Enfin, nous présenterons la démarche de l'INERIS pour l'évaluation d'un système électronique programmable dédié à la sécurité. Cette méthode d'évaluation a été validée sur l'automate programmable de sécurité, l'APRIL 5000S d'AEG-SCHNEIDER Automation.

Nous formulons donc les hypothèses suivantes :

- En cas d'incident, la protection du process est réalisée par le système de gestion des sécurités. L'événement indésirable est le masquage d'une ou de plusieurs fonctions de sécurité dont les conséquences peuvent être la destruction de l'installation et des pertes humaines.

- Si des personnes sont présentes dans la zone dangereuse, la mort de plusieurs personnes peut être considérée.

- Il est considéré que le séjour dans la zone dangereuse de plusieurs personnes est relativement rare.

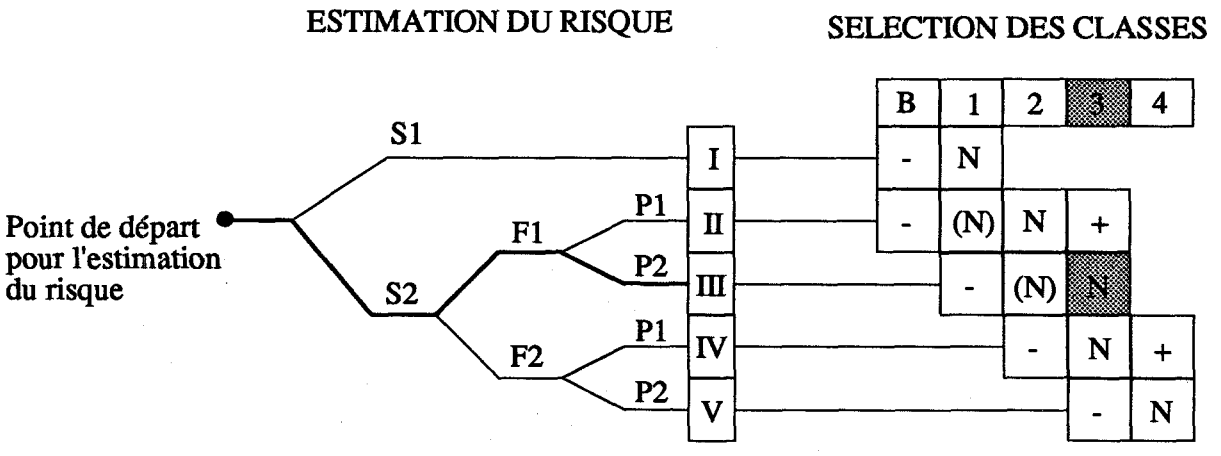
- Lorsqu'un phénomène dangereux se produit, il n'y a pratiquement aucune chance de l'éviter compte tenu de sa vitesse d'évolution.

- En l'absence du système de gestion des sécurités, la probabilité d'occurrence d'une situation dangereuse est relativement élevée.

II Classification du risque selon le projet de norme EN 954-1

Compte tenu des hypothèses précédentes, nous attribuons aux paramètres les valeurs suivantes :

1. Gravité des lésions : -> S2
2. Fréquence et durée d'exposition : -> F1
3. Possibilité d'éviter le phénomène dangereux : -> P2



Graphe des risques et classes d'exigence

Cette analyse des risques selon le projet de norme européen s'applique, en fait, à la sécurité des machines, et plus particulièrement, aux parties du système de commande relatives à la sécurité. A titre informatif, et compte tenu de l'état d'avancement des travaux sur ce sujet, nous pouvons néanmoins en déduire des exigences techniques, applicables au système de sécurité, pour une classe d'exigence de **niveau 3.**

Nous pouvons maintenant définir les exigences techniques pour un système dédié à la sécurité de classe d'exigence 3 selon le projet de norme EN 954-1.

Les parties du système de commande relatives à la sécurité doivent au minimum être conçues, élaborées, sélectionnées, montées et combinées, en accord avec les normes européennes relatives au domaine d'application concernant les principes de sécurité de base, de façon à ce qu'elles puissent faire face :

- aux contraintes de fonctionnement prévues,
- aux autres influences extérieures.

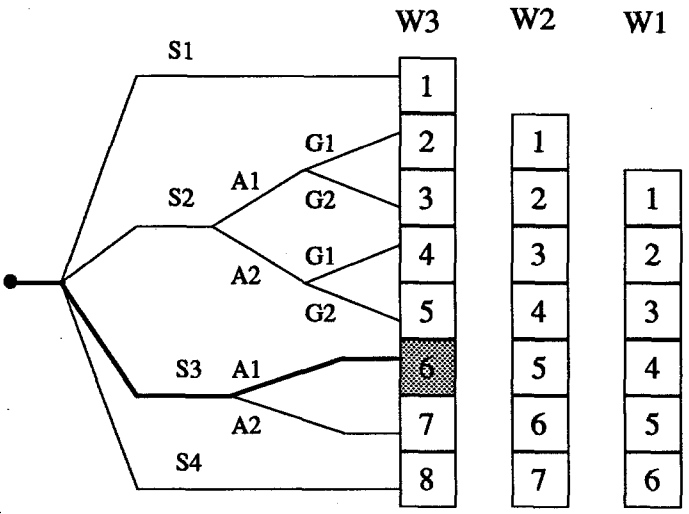
De plus, elles doivent être conçues et élaborées en utilisant des principes et des composants éprouvés. Enfin, le système de gestion des sécurités doit être tel qu'un défaut unique de la commande n'entraîne pas la perte d'une des fonctions de sécurité. "Certains défauts" (sic) doivent être détectés par des mesures adaptées. Le système de sécurité génère alors un signal de sortie conduisant à un état sûr.

Après détection d'un défaut, l'état sûr doit être maintenu tant que le problème n'est pas réglé. L'accumulation de défauts non détectés pouvant conduire à la perte de la fonction de sécurité correspond donc à l'événement redouté.

III Classification du risque selon le projet de norme DIN V 19250

Compte tenu des hypothèses précédentes, nous attribuons aux paramètres les valeurs suivantes :

1. Gravité des lésions : -> S3
2. Fréquence et durée d'exposition : -> A1
3. Probabilité d'occurrence de l'événement indésirable : -> W3



Graphe des risques et classes d'exigence

Cette analyse des risques selon le projet de norme allemand s'applique, tout à fait, au système de sécurité du process. Nous déterminons donc une classe d'exigence de niveau 6. Cependant, il est généralement admis, par les organismes allemands, une classe d'exigence de **niveau 5** pour les process chimiques, compte tenu de la très faible fréquence d'accident.

Selon leur expérience, pour qu'une situation dangereuse se produise, la conjonction de quatre événements doit être réalisée :

- réaction dangereuse au niveau du process,
- défaillance du système de contrôle commande,
- défaillance du système de gestion des sécurités,
- et défaillance des sécurités ultimes.

Nous pouvons maintenant définir les exigences techniques pour un système dédié à la sécurité de classe d'exigence 5 selon le projet de norme DIN V VDE 0801.

Le tableau ci-après, décrit pour les mesures d'évitement et les mesures de contrôle des défauts, leur efficacité en fonction de la nature et des causes de ces défauts pour la classe d'exigence 5.

Mesures de sécurité particulières	Efficacité
1. Contrôler les défauts aléatoires uniques dans le matériel	mesures renforcées (élevée)
2. Contrôler les défauts aléatoires multiples dans le matériel, encourus par une accumulation de défauts	mesures simples (moyenne)
3. Eviter les défauts systématiques dans le matériel	mesures courantes (basse)
4. Contrôler les défauts systématiques dans le matériel	aucune mesure
5. Eviter les défauts systématiques dans le logiciel	mesures simples (moyenne)
6. Contrôler les défauts systématiques dans le logiciel	mesures courantes (basse)
7. Eviter les erreurs de manoeuvre, de mise en marche et de manipulation	mesures simples (moyenne)
8. Eviter les erreurs dues à des influences opérationnelles et d'environnement	mesures simples (moyenne)
9. Contrôler les erreurs dues à des influences opérationnelles et d'environnement	mesures courantes (basse)

En conséquence, le système de sécurité doit être conçu en respectant notamment les mesures suivantes :

- Architecture à deux voies avec comparaison de résultats ou d'états du système.
- Tests complémentaires.
- Matériel éprouvé en service et composants homologués.

- Contrôle des mesures et propriétés requises, notamment par simulation de défauts.

- Vérification du codage.

- Contrôle de toutes les branches, de tous les modules logiciels.

- Contrôle de toutes les conditions temporelles et interruptions.

- Contrôle fonctionnel complémentaire du système complet.

IV Classification du risque selon le projet de norme IEC 1508

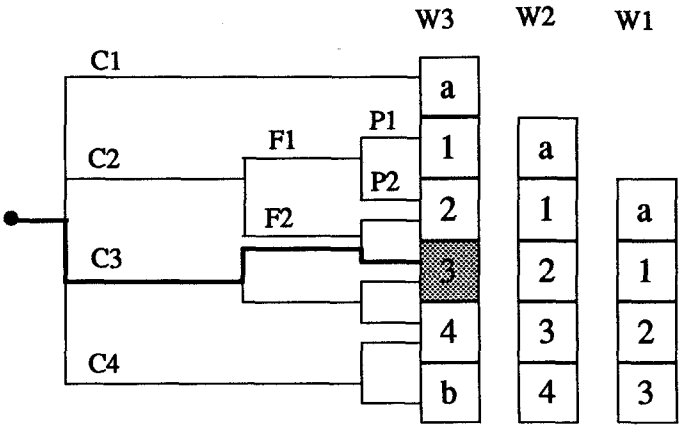
Compte tenu des hypothèses précédentes, nous attribuons aux paramètres les valeurs suivantes :

1. Gravité des lésions : -> C3

2. Fréquence et durée d'exposition : -> F1

2. Possibilité d'éviter le danger : -> P2

3. Probabilité d'occurrence de l'événement indésirable : -> W3



Le domaine d'application de ce projet de norme concerne les systèmes de sécurité utilisés dans :

- les process industriels (arrêt d'urgence, détection de gaz),

- les industries manufacturières (robots,),

- le transport (signalisation ferroviaire, ascenseur),

- le médical.

En ne considérant que l'approche probabiliste de l'IEC 1508, l'intégrité du système concerne deux éléments :

- L'intégrité du système "matériel" : le niveau d'intégrité du système "matériel" peut être normalement estimé pour les défauts aléatoires uniques. Le tableau ci-dessous présente les valeurs des taux de défaillance dangereuse pour les niveaux d'intégrité du système.

Niveau d'intégrité du système	Fonctionnement continu de la fonction de sécurité (probabilité de défaillance dangereuse par heures)	Fonctionnement sur demande de la fonction de sécurité (probabilité de défaillance de la fonction sur demande)
4	$10^{-8} < \lambda_d < 10^{-9}$	$10^{-4} < \lambda_d < 10^{-5}$
3	$10^{-7} < \lambda_d < 10^{-8}$	$10^{-3} < \lambda_d < 10^{-4}$
2	$10^{-6} < \lambda_d < 10^{-7}$	$10^{-2} < \lambda_d < 10^{-3}$
1	$10^{-5} < \lambda_d < 10^{-6}$	$10^{-1} < \lambda_d < 10^{-2}$

Niveau d'intégrité du système : objectif des taux de défaillance

- L'intégrité du système "systématique" : les défauts systématiques sont relatifs aux erreurs de conception, aux erreurs logicielles, aux défaillances de mode commun, etc.. Pour réduire ces défauts, des procédures techniques, des mesures, sont recommandées.

V Synthèse sur la normalisation

La classification des risques, telle qu'elle est définie dans le projet de norme EN 954-1, ne s'applique, en fait, que pour les machines dangereuses (elle est associé à la Directive Machines). C'est le constat que nous faisons. Le projet de norme international, quant à lui, s'inscrit dans une approche système et intègre une approche également probabiliste.

Par ailleurs, dans le projet de norme EN 954-1, les principes généraux exposés laissent envisager un certain nombre de problèmes, quant à la mise en oeuvre, et plus particulièrement, pour la validation des composants électroniques complexes dont l'emploi se généralise avec la rapidité que l'on sait.

Les spécialistes s'accordent à l'heure actuelle sur la correspondance suivante :

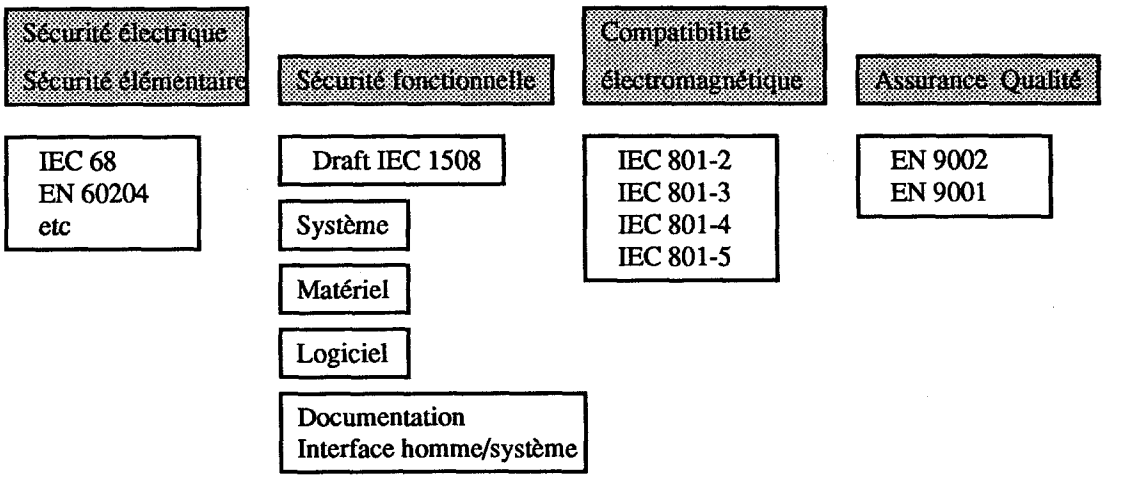
DIN V 19250	Draft IEC 1508		Pr EN 954-1
1	No special safety requirements		B
2-3	1		1
4	2	<≠>	2
5-6	3		3
7	4		4
8	PES is not sufficient		-

Nous pouvons noter qu'il existe actuellement des divergences, entre spécialistes, sur une correspondance entre le projet de norme européen et les autres projets. Cela est principalement dû au fait que les échelles de gravité des dangers ne se recouvrent pas. De plus, dans le cadre de la Directive Machines, la notion de niveau tolérable de risque ne fait pas l'objet d'un consensus.

VI La démarche de l'INERIS

La présente procédure a pour objet de définir le référentiel d'évaluation d'un système de gestion de fonctions de sécurité. Les spécifications techniques ont été élaborées d'une part, à partir de notre propre expérience, et d'autre part, en harmonie avec la normalisation internationale.

Elle se décompose en quatre phases principales :



La première phase, représentant 20 % du travail de l'évaluation du système, a pour objet de valider, d'une part, les aspects liés à la sécurité électrique, et d'autre part, son bon fonctionnement vis-à-vis des contraintes d'environnement auxquelles ce dernier est susceptible d'être confronté.

Les essais de type normatifs concernent plusieurs catégories :

- climatiques : essais de robustesse au froid et à la chaleur sèche, variation de température, essais de robustesse au cycle de chaleur humide ;

- mécaniques : vibrations et chocs ;

- électriques : ondes oscillatoires amorties, essais de variation de fréquence et de la tension du réseau d'alimentation, immunité au troisième harmonique, interruptions de tension d'alimentation ;

- relatifs à la sécurité : Exigences vis-à-vis des chocs électriques, essais de rigidité diélectrique, essais de continuité de la terre de protection, etc.

La seconde phase, représentant 50 % du travail de l'évaluation, porte sur les points suivants :

- Capacité du système à maintenir ses fonctions de sécurité opérationnelles lorsqu'un défaut unique de la fonction de commande se produit,

- Capacité à générer un signal de sortie conduisant à un état sûr si certains défauts sont détectés par des mesures adaptées.

Quatre étapes sont exécutées lors de l'évaluation de la sécurité fonctionnelle :

1. l'analyse structurale au niveau du système :

* vérification de la structure fonctionnelle.

* analyse des modes communs.

2. l'évaluation de la structure Matériel, cette étape intègre :

* une analyse des modes de défaillances et de leurs effets réalisée au niveau fonctionnel pour l'ensemble du système, puis au niveau composant pour les points critiques liés à la sécurité,

* l'analyse des solutions de traitement des risques résiduels (configuration, chien de garde, RAM, ROM, E/S, ...),

* l'analyse du comportement sur défaut interne (injections physiques de défaillances sur le système pour les points critiques dont le comportement n'a pas pu être validé par analyse).

3. l'évaluation de la structure Logiciel : celle-ci est menée selon les axes suivants:

* analyse du dossier documentaire, du point de vue de sa constitution, de l'image qu'il donne du cycle de développement,

* analyse structurale du programme quant à la spécification correcte et complète des fonctions de sécurité fixées dans la phase de concept,

* analyse de la structure globale du logiciel pour chaque fonction élémentaire,

* analyse exhaustive des procédures d'autocontrôle,

* analyse de l'efficacité et du recouvrement des autocontrôles ainsi que le temps de cycle des autocontrôles,

* analyse des documents relatifs aux tests par simulation d'erreurs de logiciel.

4. l'analyse des règles de mise en oeuvre dont le but est de limiter les erreurs de l'opérateur, par une bonne prise en compte de ses interventions lors de la conception :

* qualité des documentations,

* qualité des techniques d'aide à la maintenance,

* qualité des signalisations.

La troisième phase, représentant 20 % du travail de l'évaluation, a pour but de valider la robustesse du système vis-à-vis des perturbations d'origine électromagnétique. Les essais suivants sont réalisés :

* décharges électrostatiques,

* champs électromagnétiques rayonnés,

* transitoires électriques rapides en salves,

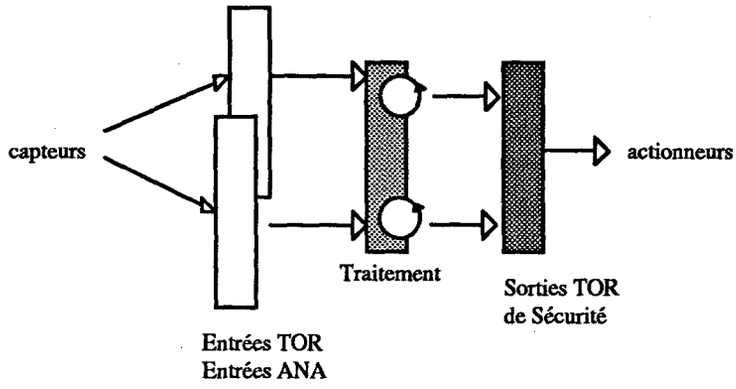
* fortes énergies.

Enfin la dernière phase, représentant 5 à 10 % du travail de l'évaluation, porte sur la gestion et l'assurance de la qualité que le constructeur doit mettre en oeuvre pour assurer le maintien de la conformité de son système aux caractéristiques évaluées.

VII Exigences techniques appliquées à l'APRIL 5000S

Cette procédure a été mise en oeuvre sur des produits industriels, et en particulier, sur un automate dédié à la sécurité, l'APRIL 5000S. L'évaluation de la sécurité fonctionnelle a porté sur la chaîne de commande SDN2, au regard du niveau SIL2 tel qu'il est défini dans le projet de norme IEC 1508. Cette architecture comporte :

- la redondance d'acquisition,
- une double programmation,
- et des sorties de sécurité.



Les points principaux de cette analyse sont présentés lors de la conférence.

VIII Conclusion

En europe, le projet EN 954-1 donne lieu à des interprétations divergentes par les organismes de sécurité. C'est pourquoi, l'INERIS en étroite collaboration avec l'INRS, coordonne actuellement une action pour lancer un projet européen dont l'objet sera d'accélérer l'émergence de la norme EN 954, et tout particulièrement, pour harmoniser les procédures de validation des laboratoires européens.