

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN INGÉNIERIE

PAR
CHARLES DESBIENS
B. Ing.

BASE DE CONNAISSANCES POUR LA SUPERVISION DE PROCÉDÉS

JUIN 1992



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

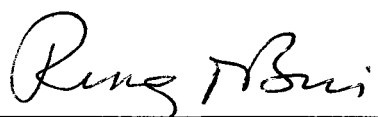
Résumé

L'opération d'une cuve d'électrolyse de l'aluminium est une tâche complexe. Pour aider les opérateurs dans leur travail, des systèmes automatiques essaient de garder ce système à l'intérieur de limites d'opération normales. Ces systèmes réalisent leur contrôle en se basant sur un nombre restreint de paramètres et ne peuvent diagnostiquer un problème ou réagir à une situation urgente. L'opérateur est mis à profit pour régler ces cas. Pour l'assister dans les circonstances pressantes et pour s'assurer que les actions prises par l'opérateur soient les meilleures, un système expert a été construit en se basant sur l'expertise qu'ils ont développée avec les années.

Un modèle de représentation des connaissances pour une cuve d'électrolyse est proposé. Il couvre le domaine de l'alimentation en alumine et plus particulièrement les alarmes, les problèmes mécaniques, les effets anodiques et la boue. Ce modèle se base sur le savoir d'experts soit des opérateurs, chercheurs et ingénieurs impliqués dans le développement et l'opération de la cuve A-310. Ce modèle a été vérifié à l'aide des experts.

Le système expert présenté intègre cette expertise dans une coquille de système expert, Comdale/X, et la rend disponible à tous ceux qui s'intéressent à une opération plus efficace d'une cuve d'électrolyse de l'aluminium.


Charles DesBiens, étudiant


Rung Tien Bui, directeur de recherche

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de thèse, le professeur Rung Tien Bui, pour son support, sa compréhension, ses précieux conseils et pour avoir accepté avec entrain ce projet inédit de système expert. Je veux remercier mon co-directeur, M. Vinko Potocnik, pour m'avoir présenté ce beau domaine de l'intelligence artificielle, donné le goût de m'y impliquer et aidé, tout au long de mes travaux, à rencontrer les personnes nécessaires à l'avancement de mes recherches. Ses conseils, sa disponibilité et son enthousiasme contribuent à la réussite de ce projet.

Je tiens à témoigner ma gratitude à M. Laszlo Tikasz pour son aide et ses nombreuses explications sur la cuve d'électrolyse de l'aluminium. Je veux pas passer sous silence l'aide apportée par M. Jean-Paul Paquet. Je tiens à remercier toutes les autres personnes, qui ont été impliquées directement dans mes travaux, et, qui sont par ordre alphabétique, M. René Belley, M. Marc-Yvan Côté, M. Yvon Paradis et M. Serge Watier. Leur appui et leur intérêt constant ont permis de produire ce système expert. Le succès de mes travaux repose essentiellement sur les connaissances pratiques de la cuve d'électrolyse qu'ils ont su me confier avec clarté, concision et patience.

Je veux aussi remercier les généreux donateurs, qui m'ont permis la poursuite d'études supérieures à l'abri de problèmes financiers. Il s'agit de la Fondation Desjardins (Programme Girardin-Vaillancourt), de la bourse Alcan et du Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie. De même, je suis reconnaissant à la compagnie Alcan International pour l'aide qu'elle m'a apportée qu'elle soit sous forme humaine, technique ou financière.

Finalement, je veux remercier ma famille pour leur compréhension et leur encouragement soutenu depuis le tout début de mes études.

Table des matières

Résumé.....	ii
Remerciements.....	iii
Table des matières	iv
Liste des figures.....	v
Liste des tableaux	vii
1.0 Introduction	1
2.0 Problématique.....	3
2.1 Principe de l'électrolyse de l'aluminium	3
2.2 Environnement physique.....	4
2.3 Contrôle de l'alimentation	8
2.4 Observation	10
2.5 Historique du problème et situation actuelle.....	11
2.6 Objectifs.....	15
3.0 Les systèmes experts	16
3.1 Historique	16
3.2 Définition.....	18
3.3 Les composantes d'un système expert	20
3.3.1 La base de connaissances	20
3.3.2 La base de faits.....	21
3.3.3 Le moteur d'inférence	21
3.3.4 L'interface	22
3.4 Représentation des connaissances.....	22
3.4.1 Les triplets objet-attribut-valeur (OAV).....	23
3.4.2 Les règles	24
3.4.3 Les schémas.....	28
3.5 Acquisition des connaissances.....	30
3.6 Validation du système expert	32
4.0 Description générale de la coquille Comdale/X	34
5.0 Méthodologie de développement du système expert.....	38
6.0 Résultats	43
6.1 L'acquisition des connaissances	43

6.2 Description des connaissances des experts	44
6.3 Représentation	46
6.4 Inférence	47
6.5 Interface	51
6.6 Analyse des résultats	56
7.0 Recommandations pour des travaux ultérieurs.....	62
8.0 Conclusion	64
Bibliographie	66
ANNEXE 1- Entrevues	68
ANNEXE 2 - Arbres de décisions.....	140
ANNEXE 3 - Base de connaissances	166
ANNEXE 4 - Liste de vérifications.....	192
ANNEXE 5 - Programme en langage Basic pour impression des listes	199

Liste des figures

figure 1: Composantes d'une cuve d'électrolyse de l'aluminium	3
figure 2: Schéma simplifié de l'alimentation d'une cuve d'électrolyse	5
figure 3: Composantes du système de contrôle d'une cuve d'électrolyse.....	7
figure 4: Exemple du calcul de la quantité d'alumine d'un bilan.....	10
figure 5: Système intégré de contrôle et supervision	12
figure 6: Diagramme causal de l'étude de faisabilité du C.R.I.M.....	13
figure 7: Architecture d'un système expert.....	20
figure 8: Arbre de décisions	25
figure 9: Relation entre Ordinateur et IBM	29
figure 10: Étapes principales de la réalisation d'un système expert.....	30
figure 11: Relation entre expert et cogniticien.....	31
figure 12: Catégories de problèmes dans la base de connaissances.....	39
figure 13: Exemple d'un arbre de décisions	40
figure 14: Interface-usager livrée avec Comdale/X.....	41
figure 15: Cycle pour la construction d'un système expert.....	42
figure 16: Structure des objets	46
figure 17: Liens entre les règles.....	47
figure 18: Lien entre la règle d1_alim_111 et d1_alim_1111	47
figure 19: Exemple du déclenchement de règles en profondeur puis en largeur	49
figure 20: Liste de vérifications.....	52
figure 21: Exemple d'une image-conseil	54
figure 22: Exemple d'utilisation de valeurs par défaut dans une interface	55

Liste des tableaux

tableau 1: Nombre de semaines travaillées par tâche	42
tableau 2: Avantages et désavantages d'une coquille de système expert.....	58

Chapitre 1

1.0 Introduction

L'électrolyse de l'aluminium est un processus complexe où s'effectue une réaction chimique où l'alumine (Al_2O_3) se transforme en aluminium (Al). Le contrôle d'une cuve d'électrolyse est bien connu. Grâce à l'analyse en continu du courant et du voltage et de mesures prises de façon régulière dans la cuve comme la température du bain, on arrive à garder ce procédé à l'intérieur de certaines limites d'opération.

Les boucles de contrôle actuelles effectuent l'ajustement automatique des anodes, modifient l'alimentation en alumine, éteignent les effets anodiques, etc. Ce contrôle fonctionne bien sous certaines conditions, mais on doit rechercher des façons pour l'améliorer.

Les opérateurs font face à différents problèmes durant leur journée de travail et les mécanismes de contrôle ne sont pas toujours prévus pour faire face à toutes les situations. Par exemple, des effets anodiques à répétitions et des alarmes peuvent se produire de façon fortuite. La façon d'y répondre dépend de l'opérateur en fonction. Selon son expérience, les actions prises pour remédier au problème diffèrent d'un opérateur à l'autre de même que les hypothèses pouvant expliquer l'état de la cuve. Dans une même situation, certains opérateurs plus expérimentés résolvent les problèmes d'une façon plus efficace et plus rapide que d'autres. Cette capacité propre à certaines personnes leur donne le titre d'expert dans le domaine.

Pour améliorer le contrôle d'une cuve d'électrolyse, on doit pouvoir regrouper cette expertise, l'optimiser et la diffuser pour uniformiser les décisions entre tous les opérateurs expérimentés ou non, pour permettre aux opérateurs novices de

l'acquérir plus rapidement et pour aider l'ensemble des opérateurs à prendre de meilleures décisions que ce soit en temps normal ou en temps de crise.

Les langages informatiques traditionnels comme le Fortran s'appliquent bien à la logique du contrôle de procédé actuel, mais ils ne peuvent intégrer facilement le raisonnement humain ou l'expertise. Par contre, la technologie des systèmes experts utilisant des méthodes de représentation des connaissances le fait aisément.

Cette recherche a donc pour but de rassembler l'expertise concernant les problèmes d'alimentation en alumine d'une cuve d'électrolyse, de proposer un modèle de représentation des connaissances et d'introduire ces connaissances dans une coquille de système expert. Le système expert doit conseiller une action à réaliser par l'utilisateur pour aider à ramener la cuve d'électrolyse qui est dans une situation problématique, vers un état de fonctionnement normal.

La présente étude se limite aux connaissances du domaine de l'alimentation en alumine qui comporte cinq sous-domaines: problèmes mécaniques reliés à l'alimentation, problèmes d'ordinateurs, problèmes d'effets anodiques, problèmes d'observation et problèmes de boue.

L'expérimentation met en évidence les grandes phases de la réalisation d'un système expert qui sont: l'acquisition des connaissances (la plus longue et la plus ardue), la modélisation, le développement d'un prototype et la validation.

Dans le chapitre 2, nous verrons la description du problème et les objectifs recherchés suivi dans le chapitre 3 de l'explication du fonctionnement d'un système expert qui constitue la pierre angulaire de la solution. La coquille utilisée dans le cadre de ce travail est présentée dans le chapitre 4. Dans le chapitre 5, nous verrons les choix effectués pour la réalisation du système, dans le chapitre 6, la présentation de la solution, dans le chapitre 7, les recommandations pour des travaux ultérieurs et finalement la conclusion.

Chapitre 2

2.0 Problématique

2.1 Principe de l'électrolyse de l'aluminium

La figure 1 permet de résumer les principales parties et le fonctionnement d'une cuve d'électrolyse.

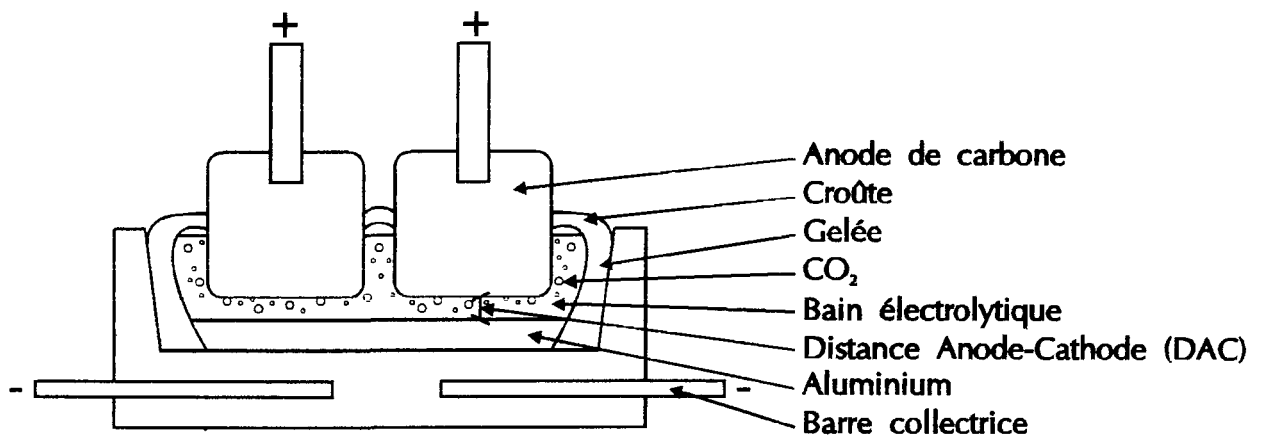


figure 1 : Composantes d'une cuve d'électrolyse de l'aluminium

Le procédé d'électrolyse de l'aluminium consiste à faire passer un courant électrique par l'intermédiaire d'anodes de carbone dans une solution appelée bain électrolytique contenant de l'alumine dissoute dans de la cryolite. L'électrolyse produit de l'aluminium en fusion et du CO_2 . Le courant pénètre dans la cuve par les anodes et ressort par des barres collectrices situées dans la cathode. La température d'opération se situe aux alentours de 950°C et permet de maintenir le bain et l'aluminium en fusion. Un équilibre thermique entre la température extérieure et la température du bain forme la gelée sur les parois de la cuve et la croûte sur le dessus du bain. La gelée et la croûte proviennent uniquement de la solidification du bain. La gelée a une utilité supplémentaire soit celle de protéger les parois de la cuve faites de carbone de l'érosion qu'entraînerait leur contact

avec le bain. La distance entre l'extrémité inférieure de l'anode et la partie supérieure de la nappe d'aluminium est appelée DAC ou distance anode-cathode. Cette distance est habituellement gardée à 4,0 cm.

L'ensemble de la cuve équivaut, pour le courant, à une résistance. La résistance d'une cuve évolue surtout en raison de la variation de la concentration en alumine dans le bain électrolytique. La relation existant entre la résistance du bain électrolytique et la concentration en alumine n'est pas linéaire, mais habituellement, si la concentration est faible, la résistance est élevée. On mesure donc un voltage entre la partie supérieure de l'anode (+) et la barre collectrice (-). Le courant, le voltage et par conséquent la résistance sont les seules données disponibles en continu. Pour contrôler la cuve, le système automatique analyse le comportement des ces valeurs et de d'autres paramètres enregistrés périodiquement.

2.2 Environnement physique

La figure 2 montre le cheminement de l'alumine à travers les installations de la cuve A-310 du Centre de Génie expérimental d'Alcan International à Jonquière, Québec.

Les points de repère sur la cuve sont les bouts siphonnage et contrôle. Le bout contrôle s'appelle ainsi, car le contrôleur de la cuve se situe à cet endroit ainsi que les valves solénoïdes qui sont responsables de l'entrée d'air comprimé dans les alimentateurs. C'est à cet endroit que l'opérateur actionne manuellement les alimentateurs ou les casseurs. Comme son nom l'indique, le bout siphonnage désigne l'endroit où s'effectue le siphonnage du métal liquide produit par la cuve.

Un premier réservoir de 30 tonnes est alimenté en alumine pure. Une sonde indique le niveau d'alumine dans ce réservoir en pourcentage (100% correspond à un réservoir plein et 0%, à un réservoir vide). Ce réservoir envoie 5 tonnes d'alumine à toutes les 12 heures dans l'épurateur et le réacteur et elle y restera durant 12 heures. L'épurateur transmet le fluor provenant des gaz de la cuve d'électrolyse à l'alumine. Pour ce faire, l'alumine se colle par succion à des sacs dans l'épurateur à travers lesquels passent les gaz. L'alumine capte ainsi le fluor. Par la suite, une pression d'air vient faire tomber l'alumine à toutes les 4 ou 5 minutes

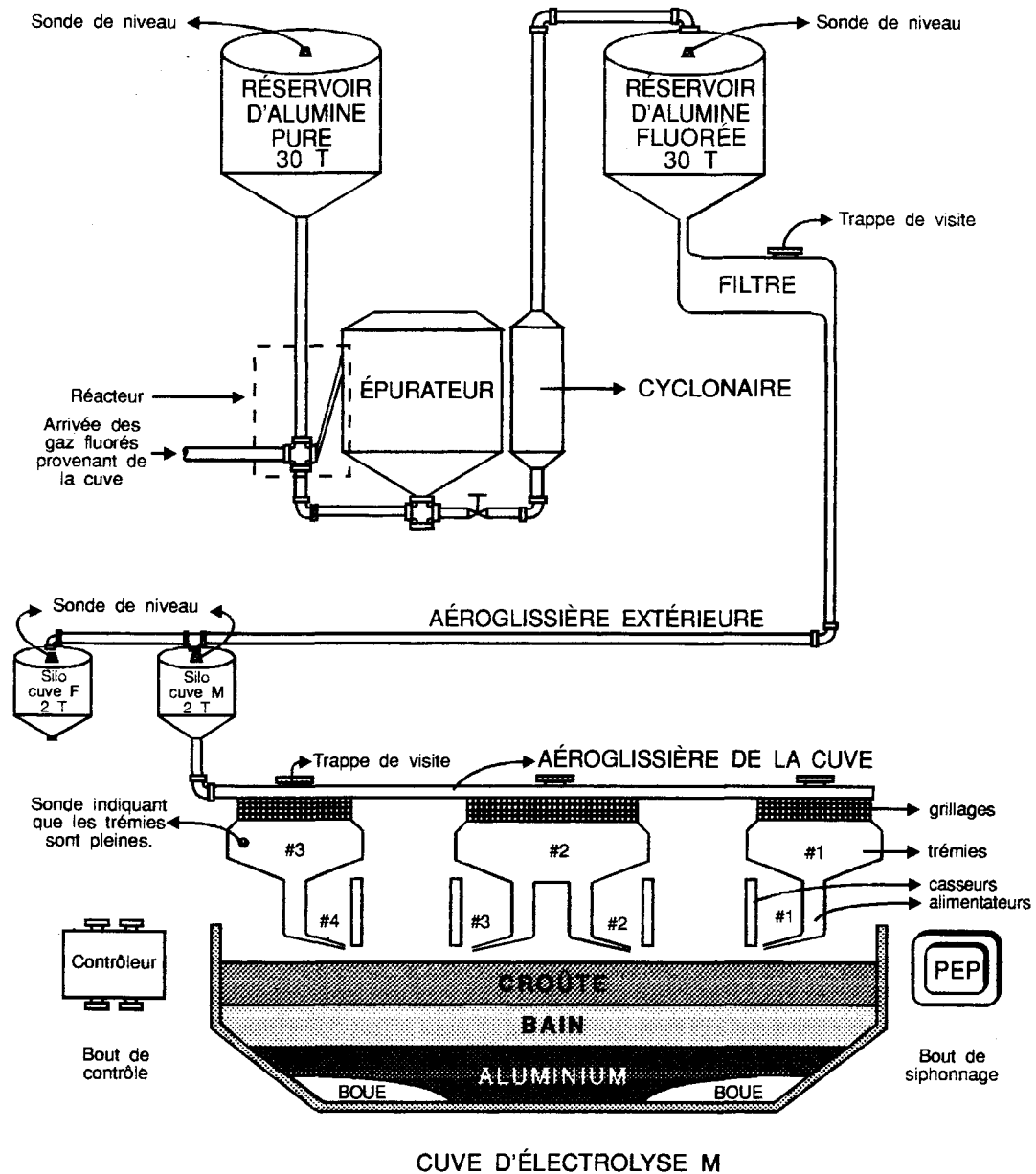


figure 2: Schéma simplifié de l'alimentation d'une cuve d'électrolyse

et de la nouvelle alumine vient se greffer aux sacs. L'alumine qui tombe, est retournée vers le haut pour un nouveau cycle. C'est le réacteur qui effectue ce retour.

Après 12 heures, l'alumine se rend dans un nouveau réservoir, appelé réservoir d'alumine fluorée, par l'intermédiaire d'un cyclonaire. Le réservoir peut

contenir 30 tonnes d'alumine fluorée et possède aussi une sonde indiquant le niveau d'alumine en pourcentage fonctionnant comme celle du réservoir d'alumine pure. Une aéroglissière appelée aéroglissière extérieure amène l'alumine fluorée du réservoir de 30 tonnes à un petit réservoir contenant 2 tonnes d'alumine associé à chaque cuve (M ou F) en passant par un filtre fluidisé. Ce petit réservoir porte le nom de silo ou petit silo. Cette quantité d'alumine accorde une autonomie de 8 heures aux cuves. Une sonde placée dans le petit silo déclenche l'aéroglissière extérieure si elle y détecte un niveau bas en alumine et aura pour effet de le remplir. L'horaire programmé de l'aéroglissière extérieure est d'une action à toutes les 4 heures. L'aéroglissière est légèrement penchée (2°) et permet une circulation facile de l'alumine sans obstruction.

À partir du petit silo, on remplit d'autres petits réservoirs situés au-dessus de la cuve qu'on appelle trémies. Il existe trois trémies par cuve. On alimente ces trémies pendant 30 minutes à toutes les trois heures. La première trémie se situe au bout siphonnage et la troisième, au bout contrôle. Le transfert de l'alumine du petit silo vers les trémies s'effectue à l'aide d'une deuxième aéroglissière, appelée aéroglissière de la cuve. La première trémie alimente le premier alimentateur, la deuxième, le deuxième et le troisième alimentateur et finalement la troisième trémie alimente le quatrième alimentateur. Il existe un ordre de remplissage des trémies. Le système remplit d'abord la première trémie puis la deuxième et finalement la troisième située près du bout contrôle. Une sonde de niveau située dans la troisième trémie arrêtera le remplissage ainsi que l'aéroglissière de la cuve lorsque cette trémie sera pleine. Des grillages installés au niveau de l'entrée de l'alumine dans les trémies ainsi que dans les trappes de visite évitent que des débris ou des outils transportés par les travailleurs ne viennent obstruer les alimentateurs.

Les alimentateurs sont formés d'une chambre volumétrique de forme allongée et contenant 1,8 kg d'alumine. Pour alimenter la cuve, de l'air comprimé est injecté pendant 12 secondes dans l'alimentateur. À ce moment, 1,8 kg d'alumine tombe dans la cuve et un surplus provenant de l'intersection de l'alimentateur et de la trémie tombe aussi. Cette quantité est d'environ 0,2 kg. Donc, au total, 2,0 kg d'alumine est introduit dans la cuve. Cette injection d'air revient régulière-

ment, à toutes les deux minutes environ, selon une fréquence gérée par le contrôleur. Le casseur fonctionne toujours avant l'injection de l'alumine dans la cuve. Les problèmes rencontrés se présentent sous la forme d'obstruction au niveau des alimentateurs ou des aéroglissières, de senseurs retournant un mauvais signal et de manque de pression d'air. Le système à développer doit aider au diagnostic de ces problèmes.

Le système informatique est un système distribué. Il y a un ordinateur central relié à un ordinateur de cuve ou contrôleur. S'il y avait plusieurs cuves, chacune posséderait son contrôleur. On peut voir sur la figure 3 la relation existant entre les ordinateurs, les entrées et les sorties du procédé qui permettent le contrôle d'une cuve d'électrolyse¹.

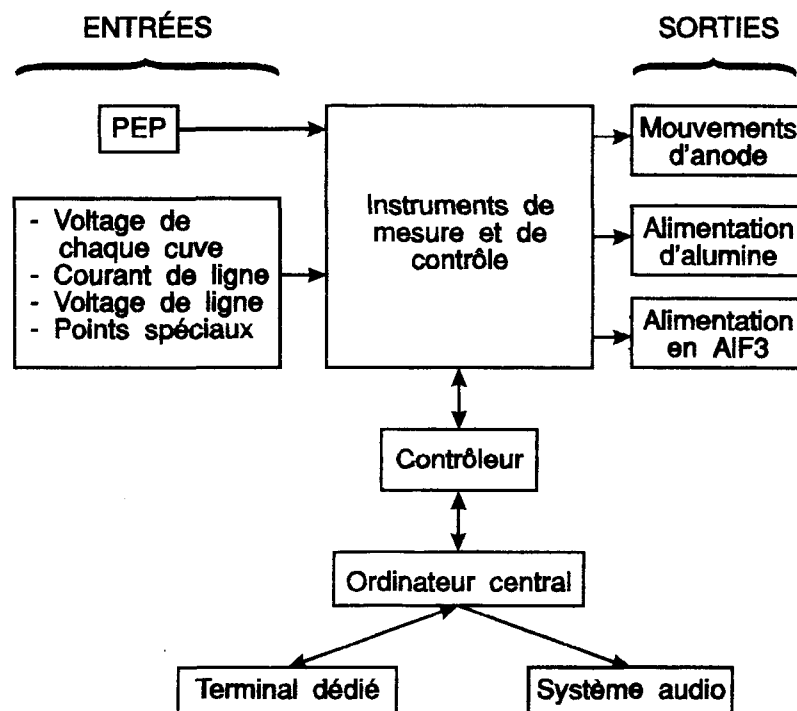


figure 3: Composantes du système de contrôle d'une cuve d'électrolyse

Le contrôle automatique actuel analyse en continu le courant et le voltage de la cuve ainsi que d'autres paramètres mesurés régulièrement par l'opérateur comme le ratio du bain électrolytique.

L'ordinateur central de la cuve enregistre une multitude de données (voltage de la cuve, résistance de la cuve, etc). Il conserve les données, calcule des statistiques, génère des alarmes et produit des rapports. Le contrôleur envoie les données recueillies sur la cuve à l'ordinateur central. L'ordinateur central échantillonne chaque contrôleur, un à la suite de l'autre. L'opérateur dispose de peu de temps dans sa journée de travail pour analyser cette masse d'informations et en tirer les conclusions qui permettraient de mieux comprendre l'état de la cuve et de mieux la contrôler. Pour l'aider dans sa tâche, un système informatique devrait pouvoir analyser ces données comme le ferait un opérateur expérimenté et devrait le conseiller sur les actions à prendre sur la cuve.

Le contrôleur, quant à lui, contrôle la résistance de la cuve, l'alimentation en alumine de la cuve, effectue la suppression des lumières (SLO) et les observations et ajuste la position des anodes et la chimie du bain. On élaborera un peu plus loin sur la signification des observations. Bref, il aide à maintenir la cuve dans ses limites d'opération lors de traitements automatiques, de changements d'anodes et de siphonnage.

Le PEP (Peripheral Entry Program) est un terminal tactile branché au contrôleur de la cuve. C'est l'intermédiaire entre le contrôleur et l'opérateur. Les actions demandées par l'opérateur doivent passer par le PEP. On peut visualiser la valeur du voltage de la cuve, du courant et de la densité de courant, faire bouger les anodes, entrer les températures du bain, demander l'état du siphonnage et plusieurs autres actions. Les problèmes liés aux équipements informatiques se produisent surtout lorsqu'ils tombent en panne. Le système expert devra faciliter le contrôle de la cuve en l'absence de support informatique et aider à gérer leurs effets sur l'ensemble de l'opération (ex.: aucune alarme de générée).

2.3 Contrôle de l'alimentation

L'alimentation en alumine d'une cuve d'électrolyse s'effectue de la façon suivante. Selon une période de temps précise qui est déterminée par une observation, le contrôleur actionne le casseur qui troue la croûte. Le contrôleur ouvre ensuite une valve qui envoie de l'air comprimé dans l'alimentateur. À ce moment, 2,0 kg d'alumine tombe de l'alimentateur au niveau du trou de casseur. La quan-

tité d'alumine qui s'écoule, ne change pas. Si une suralimentation est désirée, alors la fréquence avec laquelle on alimente, augmentera. Si, par contre, on souhaite une sous-alimentation, la fréquence diminuera.

Le contrôle automatique de l'alimentation cherche à obtenir une vitesse moyenne d'alimentation en alumine égale à celle de l'électrolyse. Ce principe semble évident et facile à appliquer, mais la vitesse d'électrolyse dépend de l'efficacité de courant. Ce dernier paramètre est difficile à évaluer et empêche ainsi l'évaluation de la quantité exacte d'alumine nécessaire à la cuve.

De plus, on s'efforce à garder la concentration d'alumine dans le bain à environ 4 %. Mais la seule façon de connaître la concentration en alumine dans le bain est par l'effet anodique. Un effet anodique se déclenche lorsque la concentration en alumine dans le bain descend sous les 2 %. Ceci occasionne une hausse de la résistance du bain et du voltage, et provoque une augmentation de la température du bain, une perte d'énergie, une électrolyse du fluorure d'aluminium et parfois une baisse du courant de ligne. On essaie donc de l'éviter. Pour contrôler automatiquement la concentration en alumine dans le bain, on utilise un programme informatique appelé *observation* qui sera expliqué dans la prochaine section. Bien qu'il existe des sondes permettant de mesurer la concentration en alumine dans le bain, leur utilisation demeure essentiellement expérimentale. En pratique, elles ne sont pas employées.

Ainsi si on sous-alimente, la cuve se dirige vers un effet anodique. Par contre, si on suralimente, le surplus d'alumine qui n'est pas dissout dans le bain, se dépose dans le fond de la cuve. Ce dépôt qu'on nomme boue, se forme également lorsqu'il y a une augmentation des pertes thermiques de la cuve. La boue modifie la direction de courant électrique, des champs magnétiques de la cuve et provoque des changements dans la stabilité de la cuve. Aussi, elle augmente la résistance de la cuve, la demande en voltage et réduit la DAC. On essaie donc de ne pas avoir de boue au fond de la cuve. Le système expert devra aider à décider des meilleures actions à prendre pour éteindre un effet anodique et assister à la détection et au contrôle de la boue.

2.4 Observation

Un mécanisme automatique appelé observation permet la modification de la fréquence d'alimentation en alumine pour éviter les deux situations précédentes (boue et effet anodique). Cette phase consiste à suspendre l'alimentation en alumine et le contrôle d'anodes afin de diminuer la concentration en alumine dans le bain à un point tel que la cuve s'approche d'un effet anodique, mais sans l'atteindre. Ceci permet d'estimer la concentration en alumine dans le bain électrolytique. Voyons plus en détails ce mécanisme.

Une phase de pré-observation s'exécute avant l'observation. Elle permet la vérification de critères avant le début de l'observation. Lorsque l'observation débute, les valeurs de la pente et de l'accélération de la résistance sont mises à zéro. On définit ensuite la résistance minimale qui est égale à la moyenne des résistances des cinq derniers cycles.

Puis, l'alimentation en alumine s'arrête de même que le contrôle des anodes. Trois critères sont surveillés en permanence: un critère de sous-alimentation (pente de R supérieure à $0,001750 \mu\Omega/36 \text{ s.}$) et deux critères d'arrêt d'observation ($\Delta R > 0.4 \mu\Omega$ et pente pondérée des résistances $> 3250 \mu\Omega$ par 3,6 minutes). Le ΔR s'évalue en soustrayant de la valeur de résistance actuelle la valeur de la résistance minimale. Si un critère d'arrêt est sélectionné, une alimentation rapide débute et un bilan en alumine est calculé. La figure 4, ci-dessous, présente le cal-

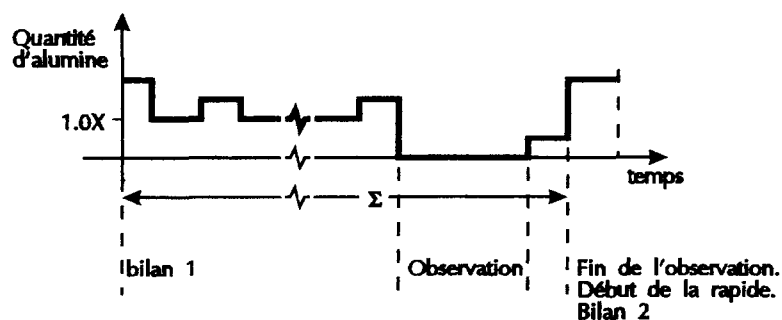


figure 4 : Exemple du calcul de la quantité d'alumine d'un bilan

cul d'un bilan (1,0 X symbolise une alimentation normale d'alumine, 200 kg/heure).

Le bilan évalue le poids total (Σ) d'alumine ajoutée à la cuve depuis le dernier bilan et le compare à la quantité théorique d'alumine que la cuve aurait dû recevoir. La quantité théorique se calcule en multipliant la fréquence d'alimentation en alumine par la durée du bilan. C'est donc une fonction du temps. Si la durée de l'observation est longue, ceci indique que la cuve contient suffisamment d'alumine pour survivre jusqu'à l'effet anodique. La cuve est donc riche. Or, plus l'observation est longue, plus la quantité théorique augmente. Si la quantité théorique est supérieure à la quantité réelle d'alumine mise dans la cuve, alors la cuve est dite riche et en conséquence on doit diminuer le régime d'alimentation en alumine et la fréquence des alimentateurs. La logique est inversée si la durée de l'observation est très courte. On a remarqué que l'observation modifiait parfois incorrectement le régime d'alimentation et ce, pour certains états de la cuve. On voudrait pouvoir reconnaître ces états et ainsi valider l'observation d'une cuve d'électrolyse.

2.5 Historique du problème et situation actuelle

Pour améliorer le contrôle de la cuve, on doit fournir aux opérateurs un nouvel outil de travail qui va les aider à résoudre les cas que nous venons de décrire. Pour résoudre ces problèmes, les opérateurs font appel aux connaissances d'experts de la cuve. Pour rendre cette expertise disponible en tout temps, on désire l'intégrer dans un support informatique. Ceci exige donc un logiciel possédant des propriétés nouvelles et différentes de la programmation standard telle que nous la connaissons actuellement, comme, par exemple, le langage Fortran.

Faisant partie du domaine de l'intelligence artificielle, les systèmes experts répondent à ces attentes. Un système expert informatise l'expertise humaine. Ceci donne à un ordinateur un raisonnement semblable à celui de l'expert dont on a tiré les connaissances. Cette technologie s'applique bien à ce genre de problèmes où l'expert fait des choix rapides à travers une multitude d'informations pour n'en retenir que les principales.

Le système intégré qui avait été proposé, combinera un système de contrôle de procédé classique, un simulateur de procédé et un système expert. L'en-

semble aidera l'opérateur à prendre ses décisions. La figure 5 montre les relations entre les différents éléments et le procédé réel.

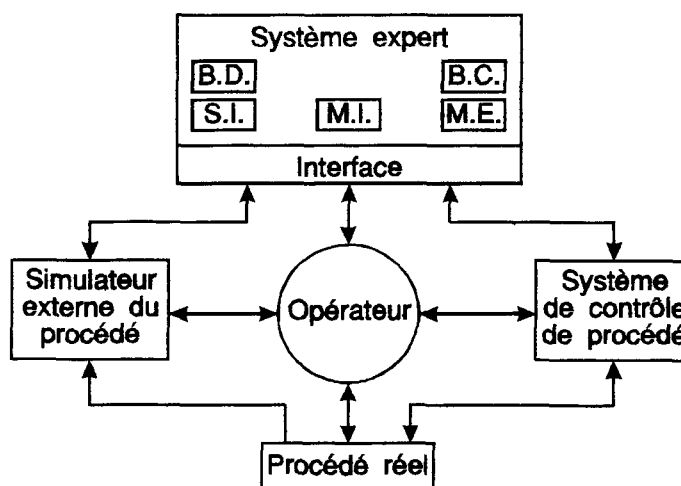


figure 5: Système intégré de contrôle et supervision

Le système fonctionnerait de la façon suivante. Le système expert gère l'ensemble des éléments. Il reçoit les données réelles venant du système de contrôle de procédé et les données simulées en provenance du simulateur. Le simulateur de procédé qui imite en fait le comportement d'une cuve d'électrolyse, est mis à jour à partir des variables provenant du procédé réel. Les données fournies par le simulateur auxquelles s'ajouteront celles du procédé, permettront au système expert d'effectuer son inférence. L'expertise contenue dans le système expert lui permet, avec les informations fournies, de tirer une conclusion sur l'état actuel de la cuve, de conseiller l'opérateur sur les actions à prendre et aussi, selon les connaissances du système expert, de prédire l'état à venir de la cuve. Le système expert n'applique pas ses résultats directement au procédé réel. C'est l'opérateur qui décide, en bout de ligne, des véritables actions à prendre sur le procédé réel. L'opérateur demeure donc le seul centre de décisions et d'actions sur le procédé réel.

Le système expert indique des actions à prendre à court terme, mais pourra aussi proposer des stratégies à plus long terme. Ces projections sont facilitées grâce à l'utilisation du simulateur qui augmente le nombre de données connues

sur la cuve d'électrolyse. Une discussion plus détaillée du rôle de chacun des éléments du système peut être trouvée dans Tikasz, Bui et Potocnik².

Actuellement, le simulateur de la cuve d'électrolyse est en cours d'élaboration. Pour un rapport de progrès sur la construction du simulateur, on peut référer à Tikasz, Bui, Potocnik et Barber³. De plus, une étude de faisabilité⁴ en vue de la production d'un système expert sur la cuve d'électrolyse, qui a été appelé ADOC, a été réalisée en avril 1990 par le Centre de Recherche en Informatique de Montréal (C.R.I.M.) et s'applique aux cuves d'électrolyse de l'usine Grande-Baie de la compagnie Alcan. Les problèmes majeurs concernant une cuve d'électrolyse ou une salle de cuves sont expliqués brièvement. Ils touchent au domaine de la température, de la poussière de carbone, de l'alimentation en alumine, de l'instabilité, etc. Cette étude a mis en évidence la complexité de ce projet, car un problème peut difficilement être résolu seul sans affecter d'autres paramètres. De plus, des diagrammes causaux ont été réalisés pour justement montrer les liens reliant les problèmes entre eux. Ils présentent les données influençant le problème et les effets de ce dernier sur la cuve. La figure 6 montre un de ces diagrammes.

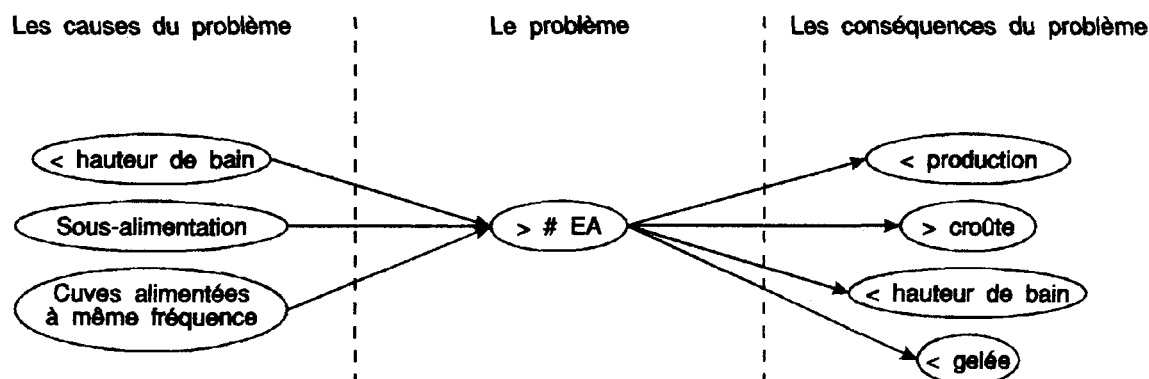


figure 6: Diagramme causal de l'étude de faisabilité du C.R.I.M.

Dans le cas montré, une diminution de la hauteur de bain, une sous-alimentation et des cuves alimentées à la même fréquence provoque une hausse du nombre d'effets anodiques. Cette hausse occasionne une baisse de production, une augmentation de la croûte, une diminution de la hauteur de bain et de la gelée.

Pour pouvoir fonctionner, le système expert proposé par cette étude devrait être lié à l'ordinateur de suivi technique (OST). Celui-ci gère une base de données (Oracle) de façon à accumuler toutes les informations jugées pertinentes en vue de produire les statistiques nécessaires au suivi des cuves. L'opérateur le consulterait une fois au début de sa période de travail. En retour, le système expert lui indiquerait les cuves dont l'état serait critique et les actions à prendre. À la fin de sa période de travail, l'opérateur doit transmettre au système expert les actions réellement posées. Fait à noter, aucun lien avec un simulateur n'a été prévu dans cette étude.

Une analyse complète de plusieurs coquilles offertes sur le marché à cette époque était annexée. Les logiciels examinés sont G2, Laser, Comdale/X, Comdale/C, Knowledge Craft, Nexpert Object, ART, Simsmart et Entreprise:Expert. Trois coquilles ont été recommandées pour ce projet soit G2, Knowledge Craft et Nexpert Object. Le choix final de la coquille se base sur d'autres critères que ceux évalués par cet examen. Comdale/X fut retenu parce que la base de connaissances développée avec ce système se transporte aisément sur Comdale/C qui est la version en temps réel de Comdale/X. Ce critère d'exécution en temps réel était évalué, à ce moment, comme très important. De plus, ce produit possédait plusieurs applications réussies en usine alors que d'autres coquilles ne pouvaient en faire autant. Et finalement, ce produit était et est encore le seul à être conçu et fabriqué au Canada.

Suite à cette analyse, l'étape subséquente était donc la construction d'un système expert dans un champ particulier de la cuve d'électrolyse. L'étude de faisabilité avait décomposé le système expert en cinq domaines principaux: haute température, instabilité, alimentation, boue et poussière.

L'alimentation en alumine semblait un point de départ intéressant, car l'expertise était connue et les experts disponibles.

C'est donc dans ce domaine particulier que cette recherche concentrera ses efforts de codification de l'expertise humaine.

2.6 Objectifs

L'objectif de ce travail consiste donc à bâtir un système expert pouvant conseiller une action à réaliser par l'utilisateur pour aider à ramener la cuve d'électrolyse qui est dans une situation problématique, vers un état de fonctionnement normal. On désire donc regrouper et uniformiser l'expertise recueillie sur la cuve d'électrolyse pour la rendre accessible à tous. Les sous-objectifs secondaires consistent à aider au diagnostic de problèmes dans le réseau d'alimentation en alumine, à faciliter le contrôle d'une cuve d'électrolyse lors de panne du système informatique, à mieux contrôler un effet anodique et la boue et finalement à valider l'observation d'une cuve d'électrolyse.

L'acquisition des connaissances qui constitue la phase majeure du projet, se réalisera dans le domaine de l'alimentation en alumine avec cinq sous-domaines précis: problèmes mécaniques reliés à l'alimentation, problèmes d'ordinateurs, problèmes d'effets anodiques, problèmes d'observation et problèmes de boue.

Le développement s'effectuera sur Comdale/X qui est une version simplifiée de Comdale/C. Comdale/X est une coquille de système expert qui facilite l'entrée des connaissances humaines sous forme informatique. Elle inclut un moteur d'inférence, un mode de représentation des connaissances et plusieurs autres commandes simplifiant grandement la création d'une base de connaissances. Toutes ces fonctions seront expliquées un peu plus loin. Par rapport à Comdale/C, Comdale/X ne contient aucune commande relative à l'archivage, à l'historique des données ou à la destruction de données après une période de validité. On peut faire des remarques semblables sur la disponibilité et la période de validité de l'exécution d'une règle⁵.

Le système expert fonctionnera en mode hors-ligne, c'est-à-dire sans aucun lien avec une base de données extérieure ou avec un simulateur. Il s'agit donc d'un système expert de diagnostic et d'aide à la décision.

Chapitre 3

3.0 Les systèmes experts

3.1 Historique

L'intelligence artificielle prend forme au milieu des années cinquante. À cette époque, on s'intéresse à la cybernétique et à la manipulation des symboles en informatique. En 1956, Newell et al développent le "Logic Theorist" qui est capable de démontrer des théorèmes de la logique des propositions.

Par la suite, en 1960, il y a création d'un langage adapté à la manipulation des symboles sous forme de listes (LISP). Dans les années 70, l'intelligence artificielle se développe et de nombreuses applications de systèmes experts et de reconnaissance des formes se réalisent⁶. Au milieu des années 70, les chercheurs de l'université de Stanford développent MYCIN qui est le premier grand système expert à pouvoir représenter un expert humain et à pouvoir fournir des explications de son raisonnement. MYCIN a permis d'appliquer les systèmes experts à un véritable problème qui a sorti cette technologie des laboratoires de recherche⁷.

Depuis le début des années 80, de nombreuses applications dans tous les secteurs d'activités humaines se sont développées dont voici quelques exemples.

Aladin:

Aladin aide au design de nouveaux alliages. Le système expert recherche à travers différents alliages, les propriétés voulues pour l'alliage à fabriquer et suggère les éléments à ajouter à l'aluminium pour le fabriquer. Ce système applique typiquement le mode de représentation des connaissances par schémas qui seront expliqués plus loin⁸.

Imprimerie:

Le système expert indique l'arrangement idéal des pages d'un journal dans la machine à impression. Ce design s'avère compliqué puisqu'il doit gérer le nombre de pages, de cahiers, la couleur et les bris possibles dans la presse. Le système expert sépare les stratégies des connaissances heuristiques. Ces dernières sont représentées par des règles. Le but de cette division est d'avoir un système expert modulaire et plus facile à entretenir. Leur expérience a mis en évidence la difficulté de générer un système expert qui soit le plus universel possible, c'est-à-dire, dans leur cas, un système qui puisse s'adapter à une toute autre presse d'une autre imprimerie⁹.

Planification de cours:

Un système expert a été développé pour permettre aux étudiants d'élaborer leur cheminement scolaire en fonction de leurs intérêts, de leurs prérequis, de leur orientation, des exigences du programme et du cheminement déjà fait par l'étudiant. Ils ont remarqué que la convivialité et la facilité d'accès au système sont des objectifs à atteindre pour que le système soit utilisé de façon optimale¹⁰.

Contrôle de procédé avec modèle mathématique:

Ce système expert est utilisé pour contrôler un procédé auquel on ne peut avoir toutes les données à partir de senseurs ou autres. Il suggère donc d'utiliser un modèle mathématique pour prédire le comportement du système. Le système expert fait ses prédictions et compare aux observations réelles et s'il y a une différence, essaie de modifier le modèle pour que ses prédictions concordent aux observations. Ceci permet au système expert de pouvoir fonctionner même si un senseur est hors d'usage. Il permet donc de diagnostiquer un problème avec un minimum d'observations, de prédire le comportement du procédé et de prévoir les alarmes à venir¹¹.

Deux systèmes experts ont été développés dans le domaine qui nous intéresse ici soit la cuve d'électrolyse de l'aluminium. Il s'agit de ESCAR et HALDRIS.

ESCAR:

ESCAR recueille d'abord l'information nécessaire à la base de connaissances de deux façons: par senseurs et par les observations des opérateurs. Il en déduit ensuite l'état de fonctionnement (normal ou problématique) et donne les actions à suivre pour rétablir la situation. Le système expert vérifie continuellement les données pour reconnaître tout changement dans l'état de la cuve¹².

HALDRIS:

HALDRIS est un système expert qui a pour but d'indiquer à l'opérateur la ou les cuves en problème et d'aider l'opérateur à prendre des actions en conséquence. Le système expert acquiert des données par des capteurs en ligne, de mesures hors ligne et des observations. HALDRIS a été construit pour répondre d'abord aux besoins des contremaîtres. Le système expert doit surveiller une série de cuves de type Soderberg. Il est conçu pour fonctionner en temps réel grâce à son lien avec une base de données. La seule limite possible à son action en temps réel est la fréquence d'analyse du bain qui occasionne un délai entre la mesure et le résultat. Toutes les valeurs que l'opérateur entre dans le système expert, sont validées par des routines basées sur l'historique de la cuve. Le système expert peut donc rejeter une valeur inscrite par l'opérateur.¹³

3.2 Définition

Un système expert est un programme informatique possédant une masse de connaissances dans un domaine spécialisé, ces connaissances provenant généralement d'un ou de plusieurs experts humains chevronnés; un tel programme est capable d'atteindre les performances de l'expert dans ce domaine¹⁴. Il accomplit donc une tâche ou résout un problème concret dans un domaine spécialisé et fournit des conseils relatifs à son domaine d'expertise¹⁵.

Un système expert possède l'avantage d'être habituellement plus facilement modifiable qu'un programme écrit en langage informatique traditionnel. Le langage de programmation d'un système expert est descriptif, mais non-procédural.

Ceci permet de changer une partie du contenu du système expert sans affecter le reste de la programmation.

On utilise un système expert pour garder l'expertise, pour la diffuser à tous les autres intervenants et pour uniformiser et réduire le temps nécessaire pour prendre une décision. Un système expert guidera ses utilisateurs vers de meilleurs choix d'actions. Il permet aussi de découvrir de nouvelles connaissances par l'analyse de l'expertise recueillie, de mettre sous une forme explicite les connaissances du procédé et peut servir à la formation d'employés¹⁶. Par contre, un système expert hérite des mêmes limites des connaissances que l'expert à qui il est associé, ne sait pas quand un problème est au-delà de ses capacités et ne peut apprendre automatiquement à partir d'expériences opérationnelles¹⁷.

Les applications des systèmes experts sont nombreuses. Ils peuvent faire du diagnostic, de la prédiction, de la planification et du contrôle de procédé. Le but de l'application gouverne le choix du type de configuration à utiliser soit *hors-ligne* (off-line), *en ligne* (on-line) ou en *temps réel*.

Le mode *hors-ligne* ne requiert que les informations fournies par l'utilisateur. C'est le mode utilisé par la plupart des systèmes experts de diagnostics. Dans le mode *en ligne*, les valeurs des variables sont fournies principalement par une base de données ou par des senseurs placés dans le système à contrôler. Même dans ce mode, l'assistance d'un utilisateur peut être nécessaire à la cueillette des données. Par contre, le mode en *temps réel* ajoute une nouvelle dimension aux données soit celle du temps. La coquille ou le logiciel doivent répondre à de nouvelles caractéristiques soit: la divulgation rapide du diagnostic à l'intérieur d'un intervalle limité de temps, le déclenchement de règles à toutes les x secondes, une période de validité des données, un module pour recueillir continuellement les nouvelles données et des commandes permettant l'archivage de données. Un système expert en *temps réel* demande donc une programmation différente d'un système expert élaboré à l'aide des deux modes précédents.

3.3 Les composantes d'un système expert

Toutes les coquilles possèdent la même architecture de base. Les éléments essentiels les composant sont une base de connaissances, une base de faits souvent appelée base de données, un moteur d'inférence et un interface avec l'utilisateur. Le schéma suivant représente les relations entre les différentes composantes¹⁸.

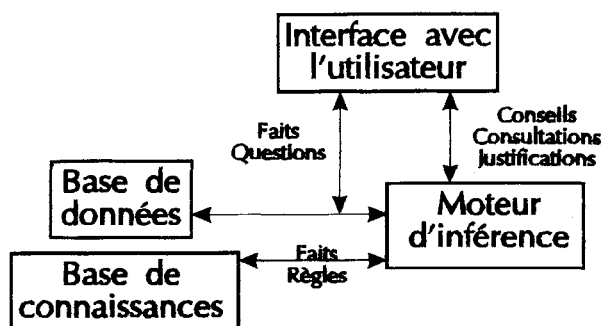


figure 7: Architecture d'un système expert

3.3.1 La base de connaissances

La base de connaissances contient l'expertise humaine codifiée sous une forme facilitant sa lecture et sa compréhension. Les connaissances de l'expert sont exprimées habituellement sous forme de schémas ou de règles¹⁹. Les schémas regroupent les objets sous forme de classes et de sous-classes d'objets. Les sous-objets pouvant hériter des attributs et valeurs des objets supérieurs ou parents. Ces connaissances sont souvent obtenues à partir de livres reliés au domaine de connaissances.

Les règles contiennent les connaissances apprises avec le temps par l'expert. Les règles expriment les liens de cause à effet et sont spécialisées dans le domaine de connaissances de l'expert. Elles permettront de tirer des conclusions à partir des faits. Les règles se construisent habituellement à partir des connaissances de l'expert. La base de connaissances contient aussi des méta-règles permettant de choisir les prochaines règles à être exécutées; ce sont des règles contrôlant d'autres règles.

Les auteurs de DESPLATE²⁰ suggèrent de créer une structure pour chaque type de problème avec des priorités pour minimiser le temps de recherche dans la base de connaissances.

3.3.2 La base de faits

La base de faits renferme les valeurs par défaut des variables, les valeurs du procédé et aussi les faits déduits en cours d'exécution. C'est en quelque sorte la mémoire du système expert. Le moteur d'inférence fait appel à la base de faits pour savoir sur quelle instruction il doit opérer.

3.3.3 Le moteur d'inférence

Le moteur d'inférence est le coeur d'un système expert²¹. Il régit les requêtes de l'utilisateur, prend connaissance des faits et applique les règles. Il "raisonne" comme un expert le ferait. Il combine aux données de la base de faits, l'expertise de la base de connaissances. Il choisit les règles à activer et les déclenche. Il en déduit ainsi de nouveaux faits qu'il utilisera pour déclencher de nouvelles règles, ou encore des conseils pour l'utilisateur. Le déclenchement des règles ne dépend aucunement de leur ordre d'entrée dans la base de connaissances.

Si un fait est manquant dans la base de faits, le moteur d'inférence demandera à l'utilisateur l'information nécessaire à la poursuite de son raisonnement.

Le moteur d'inférence applique les règles de la base de connaissances selon deux modes de chaînage: avant et arrière. En chaînage avant, le moteur d'inférence utilise les faits pour déclencher des règles et en tire une conclusion. C'est une inférence guidée par les faits. En chaînage arrière, le moteur démarre avec une conclusion à démontrer et doit trouver les faits nécessaires pour que la conclusion soit validée. C'est une inférence guidée par les buts.

Le chaînage arrière s'utilise évidemment si on sait le but à atteindre et que l'on veut connaître les actions pour y arriver. Si par contre, une situation est évolutive et des choix nouveaux s'offrent au fur et à mesure de l'évolution du système étudié, alors le chaînage avant s'impose.

Comdale/X utilise les deux types de chaînage, d'abord en chaînage avant et puis, si un fait est manquant, le chaînage arrière s'exécute.

3.3.4 L'interface

L'interface avec l'utilisateur fait le lien entre l'utilisateur et le système expert. Elle facilite l'entrée de règles et de faits et pose les questions dont le moteur d'inférence a besoin. Cette interface est nécessaire pour simplifier la programmation et l'utilisation du système expert à des personnes non spécialisées en informatique.

Une bonne interface s'exprime avec la terminologie des utilisateurs dans un langage simple et naturel. L'interface peut aussi contenir un module d'information. L'utilisateur peut donc demander au système expert de justifier une question ou une conclusion.

Comdale/X possède toutes ces composantes sauf le module d'information. Le module d'information doit être défini par le programmeur ou le cogniticien. La coquille ne peut par ses propres moyens expliquer son raisonnement.

3.4 Représentation des connaissances

Les connaissances d'une personne peuvent être exprimées de deux façons: les connaissances profondes et les connaissances de surface. Les connaissances profondes font appel à des théories générales, des lois, des axiomes, tandis que les connaissances de surface font appel à l'expérience vécue de la personne.

Par exemple, un professeur d'école non-expérimenté résout un problème en l'associant aux théories apprises, c'est-à-dire aux lois fondamentales. Une personne expérimentée d'usine solutionnera le même problème à partir de ses connaissances acquises avec le temps et rarement selon des principes fondamentaux. Il trouvera une réponse, sûrement une bonne, sans toutefois en connaître nécessairement les raisons profondes.

Une personne utilisant les connaissances de surface, aussi appelées heuristiques, arrive rapidement à une conclusion, car elle a développé une attitude lui

permettant de reconnaître les points essentiels à travers un ensemble d'informations.

C'est ce genre de connaissances qui sera utilisé dans le cadre de ce travail. Généralement, les systèmes experts sont construits à partir de ces connaissances et c'est normalement suffisant. De plus, ceci permet de garder le système expert dans des proportions raisonnables²².

Pour bâtir un système expert, il est extrêmement important d'avoir en vue un expert qui est disponible. Une personne est réputée être un "expert" si elle est capable de résoudre un problème particulier que les autres ne peuvent résoudre aussi efficacement. L'expert doit véritablement surpasser l'ensemble des autres travailleurs. Il doit non seulement résoudre les problèmes avec un pourcentage acceptable de succès, mais aussi le faire rapidement²³.

Une fois le domaine d'expertise et l'expert identifiés, il faut savoir de quelle manière les connaissances vont être représentées. Il existe plusieurs façons pour représenter les connaissances: les règles, les schémas ("frames"), les réseaux sémantiques et les triplets objet-attribut-valeur (OAV). Nous regarderons les triplets OAV, les règles et les schémas.

3.4.1 Les triplets objet-attribut-valeur (OAV)

Pour pouvoir représenter les connaissances, il faut développer des mécanismes qui systématisent l'expression des connaissances. L'unité de base de la représentation des connaissances est un objet défini par une liste d'attributs.

Par objet, on entend une entité que l'on peut abstraire de la réalité. Ce peut être une machine, un élément physique, etc. Les attributs d'un objet correspondent aux caractéristiques de cet objet. Ce peut être son nom, son emplacement, etc. Un objet et ses attributs ne décrivent que les propriétés générales que plusieurs objets ont en commun. Pour décrire un objet particulier, les attributs doivent posséder une valeur. Les valeurs associées aux attributs distinguent entre eux les objets de la même famille. Par exemple:

objet: ordinateur
attributs: nom **valeur:** IBM
attributs: interface **valeur:** Microsoft Windows

Dans ce cas-ci, on a décrit un objet, ordinateur, à l'aide de deux attributs, nom et interface. Les valeurs associées ont permis de détailler un objet en particulier un IBM dont l'interface est Microsoft Windows.

Ainsi, un objet est décrit à partir d'une combinaison objet-attribut-valeur. Ceci est appelé un triplet OAV. Le moteur d'inférence fait appel à un objet spécifique en demandant le triplet OAV correspondant qui serait, dans le cas présent, ORDINATEUR.NOM.IBM.

3.4.2 Les règles

C'est probablement la représentation des connaissances qui est la plus utilisée, car elle se rapproche le plus du langage ordinaire des individus²⁴. Une règle est composée d'une partie condition *SI* (if) et d'une partie conclusion ou action *Alors* (then). Par exemple:

Règle 1	Si	<i>condition 1</i>	
	et	<i>condition 2</i>	
	Alors	<i>action 1</i>	<i>cf1</i>
	et	<i>action 2</i>	<i>cf2</i>

Une ou plusieurs conditions prennent place dans la prémisse d'une règle. Ces conditions peuvent être reliées par des connecteurs logiques (ET, OU). La conclusion peut comprendre une ou plusieurs actions. Le mode de fonctionnement est le suivant. Si les conditions de la prémisse sont vraies, alors les actions de la conclusion sont exécutées et la règle est dite déclenchée. Par contre, si la prémisse est fausse, l'exécution de la règle s'arrête et une autre règle est choisie par le moteur d'inférence. Certaines règles acceptent aussi un *SINON* (else) en plus du *ALORS* dans la conclusion. C'est le cas pour Comdale/X, mais il faut se méfier d'une règle possédant un *SINON*, car si les prémisses sont fausses ou inconnues, le *SINON* est exécuté et ceci entraîne des erreurs.

Des coefficients de certitude sont associés aux conclusions. On les aperçoit dans la **règle 1** ci-haut sous la forme de *cf1* et *cf2*. On utilisera un coefficient de certitude lorsqu'on sera plus ou moins sûr de la conclusion. Par exemple, à partir de symptômes, un médecin donnera comme conclusion deux maladies, une certaine à 60 % et une autre à 40 %. Plusieurs règles peuvent avoir des conclusions identiques, c'est-à-dire le diagnostic des mêmes maladies, mais avec des coefficients de certitude différents. Ainsi, chaque triplet compile ses coefficients de certitude selon une méthode mathématique précise jusqu'à la fin de l'inférence. À la toute fin, les conclusions seront affichées avec le coefficient de certitude global qui indiquera la confiance du système expert envers la conclusion.

Si on utilise plusieurs règles, le système expert s'appelle un système à base de règles. Une règle peut en déclencher d'autres lorsque la conclusion d'une règle sert dans la prémisse d'une ou de plusieurs autres règles. Pour visualiser cet enchaînement, la représentation la plus appropriée est l'arbre de décisions appelé l'arbre ET/OU²⁵. L'arbre fait la liaison entre les faits et les règles. Un fait constitue un noeud et une règle, un arc. Par exemple:

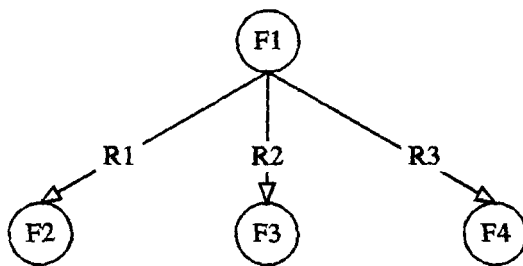


figure 8: Arbre de décisions

La descente dans l'arbre dépend de la valeur d'un fait. Les noeuds du bas de l'arbre correspondent aux conseils et aux décisions du système expert²⁶. L'arbre de la figure 8 ²⁷ montre qu'à partir d'un fait F1 et de la règle R1, on peut déduire le fait F2. Les auteurs de DESPLATE ont utilisés ce mode de représentation des connaissances. Après chaque entrevue réalisée avec les experts, une mise à jour des arbres est effectuée selon les connaissances acquises.

L'exécution habituelle d'une règle démarre à partir de faits connus vers la conclusion qui déclenchera ainsi de nouveaux faits. La logique du déduction va du

SI vers *ALORS*. Cette stratégie de raisonnement est appelée chaînage avant. On dit aussi que l'exécution est guidée par les faits. Le chaînage arrière débute avec une conclusion à prouver pour déterminer ensuite les prémisses qui doivent être satisfaites. La logique de déduction va du *ALORS* vers le *SI*. On dit que l'exécution est guidée par les buts. Les systèmes à base de règles ont l'avantage de pouvoir travailler dans les deux systèmes de chaînage. L'idée principale pour bâtir une règle demeure toujours de partir de faits pour arriver à une conclusion. Le choix du chaînage dépendra de l'objectif que l'on donne au système expert: rechercher un diagnostic ou les causes d'un diagnostic. Comdale/X utilise de façon prioritaire le chaînage avant, mais travaille dans les deux types de chaînage.

La programmation d'un système à base de règles est facile puisque les règles sont insérées sans ordre défini à l'avance. Il a la possibilité aussi d'expliquer son raisonnement en regardant les règles qu'il a utilisées.

Pour mieux contrôler l'exécution de règles, il est utile d'utiliser des méta-règles qui organisent la base de règles en indiquant quelles seront les prochaines règles à appliquer. En voici un exemple.

Si *condition 1*
 et *condition 2*
 Alors *appliquer règle(s)*

Ainsi, si les conditions de la prémisse sont remplies, le moteur d'inférence exécutera les règles spécifiées dans la conclusion.

L'avantage des règles, c'est qu'elles peuvent être comprises par n'importe qui. En effet, on peut suivre facilement le raisonnement en suivant le cheminement des règles. La faiblesse des règles est qu'il faut souvent beaucoup de règles pour représenter un problème. Aussi le nombre de règles nécessaires pour représenter même un petit problème peut parfois prendre de grandes proportions. La plus grosse difficulté est qu'il est parfois impossible de représenter une connaissance particulière par une seule règle. Il peut en résulter un manque de cohérence entre les règles²⁸.

La coquille Comdale/X utilise de façon prioritaire ce mode de représentation des connaissances, mais elle emploie aussi une architecture de représentation des objets semblables aux schémas. La section suivante présente cette architecture.

Le meilleur exemple d'application de règles est le système expert MYCIN qui peut déterminer jusqu'à 100 causes d'infections bactériennes. Celui-ci contient 500 règles et s'exécute en chaînage arrière.

On évalue souvent les systèmes experts par leur nombre de règles. Ce critère est à oublier puisque le nombre de règles dépend essentiellement du domaine d'expertise et non de la complexité de la base de connaissances. De plus, des règles mal formulées peuvent augmenter artificiellement leur nombre. On doit d'ailleurs essayer de diminuer le plus possible leur quantité en utilisant le connecteur logique *OU* à l'intérieur des règles.

Une remarque semblable s'applique à la taille des règles. Les règles longues contiennent habituellement la totalité des prémisses nécessaires au déclenchement de la conclusion. Ceci facilite la lecture de la base de connaissances. Les règles courtes proviennent généralement de la synthèse de prémisses à une étape antérieure. Elles n'en sont pas moins bonnes pour autant.

Une base de connaissances bien structurée regroupe les règles par affinité avec un problème à traiter et choisit des noms représentatifs pour faciliter le développement et la maintenance du système expert. Lors de l'entrée des règles dans un système expert, on attribue un nom à chacune d'elles. Le moteur d'inférence se soucie peu de cette dénomination de même que l'ordre d'entrée dans la coquille. Rien donc n'empêche le programmeur de numéroter les règles. Mais, si la coquille le permet, il est sage que le nom assigné à une règle représente son contenu. Étant donné qu'une base de connaissances contient des groupes de règles associés à un même problème, une partie du nom choisi pour une règle devrait représenter le groupe auquel elle appartient et une autre, pour la personnaliser par rapport au groupe.

De plus, il faut exprimer clairement ces regroupements sur papier. Chaque groupe étant indépendant, on développe séparément chacun d'eux. On s'assure plus facilement ainsi du bon fonctionnement de chaque groupe. À la limite, un groupe de règles peut être facilement intégré dans une autre base de connaissances.²⁹

3.4.3 Les schémas

Les schémas sont un autre mode de représentation des connaissances. Un schéma contient des attributs qui détaillent et décrivent un objet. Chaque attribut renferme soit une valeur, soit un pointeur vers d'autres schémas ou soit une procédure initiée par l'attribut. C'est ce dernier point qui donne du dynamisme à la base de connaissances. L'exemple suivant décrit "La couleur de la pomme est rouge" à l'aide de cette représentation.

Objet: Pomme	
Attribut: couleur	Valeur: rouge

Ces trois items, POMME.COULEUR.ROUGE, forment un triplet nommé OAV (Objet-Attribut-Valeur). On accède à une valeur en spécifiant l'objet et l'attribut.

Les pointeurs sont très utiles pour décrire la relation existant entre deux ou plusieurs schémas. La représentation graphique de ces relations constitue des réseaux sémantiques. Un objet est désigné par un cercle (noeud) et une relation par une flèche étiquetée (arc)³⁰. Certains liens comme *EST-UN* permettent à un schéma de posséder les caractéristiques du schéma auquel il est lié. La figure 9 montre un exemple d'une relation.

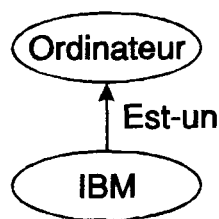


figure 9: Relation entre Ordinateur et IBM

Cette relation se traduit sous forme de schémas de la façon suivante:

Objet: Ordinateur	
Attribut:	Valeur:
Mémoire_RAM	1Mégaoctets

Objet: IBM	
Attribut:	Valeur:
Est-un	Ordinateur

Selon cet exemple, le schéma *Ordinateur* possède une *mémoire RAM* de *1 Mégaoctets*. Étant donné qu'un lien *EST-UN* existe entre *IBM* et *Ordinateur*, alors l'objet *IBM* détient aussi cette caractéristique qui est d'avoir une *mémoire RAM* de *1 Mégaoctets*. Il a donc hérité de l'attribut et de la valeur de l'objet *Ordinateur*. Ces relations permettent de décrire des objets à partir de termes généraux vers des objets spécifiques. Lorsque des objets ont des attributs communs, on parle d'une classe d'objets. Une classe permet de regrouper des objets ayant des propriétés communes. Les objets les plus généraux sont habituellement en haut du réseau sémantique et ceux plus spécifiques, au bas du réseau.

Le schéma du plus haut niveau est appelé schéma-parent et les schémas inférieurs, schémas-enfants. Un schéma-enfant peut avoir un ou plusieurs schémas-parents. L'héritage dans les schémas se définit comme étant le transfert des propriétés du schéma-parent vers les schémas-enfants. Ceci permet donc d'or-

ganiser ou de classifier une base de connaissances. Généralement, les attributs hérités ne sont pas placés dans le schéma qui hérite³¹.

Une procédure exécutée lors d'un accès à un attribut d'un objet s'appelle démon. Une procédure peut être déclenchée lors de l'ajout, d'un retrait, de la destruction ou d'une demande de valeur d'un attribut.

Les démons peuvent être utiles pour déterminer la valeur d'un attribut s'il est manquant et nécessaire pour continuer l'inférence.

Une coquille de système expert actuellement sur le marché utilisant exclusivement les schémas est Knowledge Craft. La tendance actuelle du marché est plutôt de combiner les règles avec les schémas comme dans Comdale/X et Nextpert Object.

En résumé, les schémas permettent de synthétiser les connaissances à l'aide d'une structure hiérarchique et cohérente et d'avoir plus d'information dans le système expert³². Cette représentation permet aussi d'économiser des règles puisque la transmission des données sans la notion d'héritage utiliserait un nombre élevé de règles.

3.5 Acquisition des connaissances

L'acquisition des connaissances est l'étape principale d'un système expert. C'est la phase préalable à la représentation et à la codification des connaissances sous forme de règles. Ceci demande au cogniticien d'avoir lu et d'être suffisamment au courant du domaine pour comprendre les explications et les cas présentés par l'expert. L'expert choisi doit être disponible et accessible. C'est un des critères de succès pour la réalisation d'un système expert. La figure 10 propose quatre phases principales pour l'acquisition des connaissances.

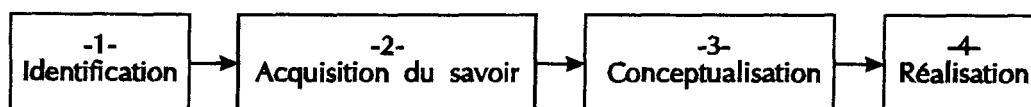


figure 10: Étapes principales de la réalisation d'un système expert

La première phase consiste à cerner le problème et à définir les buts du système expert. C'est en communiquant avec les experts qu'on peut déterminer si l'ampleur du projet est trop grande, suffisante ou trop petite. Vient ensuite, la phase d'acquisition des connaissances proprement dite. Durant cette phase, les discussions portent sur les types de problèmes, leurs solutions et leurs caractéristiques. Ensuite, l'intérêt se tourne vers la séquence, la relation et l'importance des données. Durant la conceptualisation, le modèle de représentation des connaissances est choisi de même que les mécanismes d'inférence. Les relations entre les objets s'établissent à partir des faits jusqu'aux conclusions. Finalement, l'installation dans un ordinateur de ces connaissances sous forme de règles ou d'une organisation hiérarchique d'objets se réalise dans la quatrième phase.

La figure 11 résume la relation existant entre le cogniticien et l'expert.

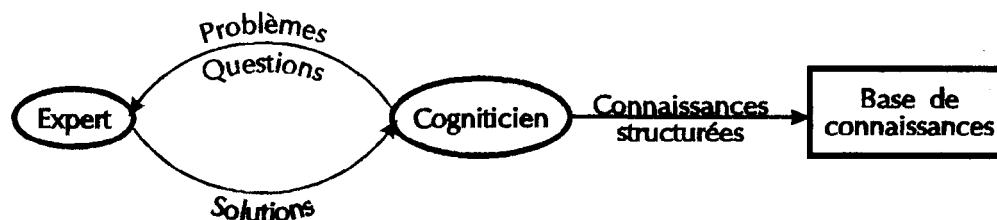


figure 11: Relation entre expert et cogniticien

L'expert résout les problèmes que le cogniticien soulève et ceci servira à enrichir la base de connaissances. Anna Hart a établi des principes généraux pour l'acquisition des connaissances³³.

L'acquisition des connaissances se fait habituellement par entrevue avec l'expert, même si certaines informations peuvent se retrouver dans des livres ou dans la déduction de cas. Le cogniticien doit poser des questions précises d'abord générales puis plus spécifiques. L'expert doit être libre de s'exprimer de la manière qui lui plaît le plus. L'expert fournira une information plus complète s'il utilise les moyens de communication auxquels il est habitué comme des tableaux, des schémas, des courbes, etc.

Le cogniticien doit laisser parler l'expert sans l'interrompre, même si des contradictions peuvent survenir dans ses explications ou qu'on ne sache pas vers quoi l'expert se dirige. De plus, durant une entrevue, ce n'est pas le moment pour le cogniticien de juger de la pertinence des connaissances que l'expert divulgue. Ce choix s'effectue par la suite durant l'analyse de l'entrevue. Une critique ou une interruption au milieu de la discussion peut rompre la communication et empêcher l'acquisition de connaissances qui auraient pu être utiles.

Il faut enregistrer l'entrevue pour ne pas manquer d'informations et pour ne pas faire répéter inutilement l'expert. Les entrevues doivent ensuite être transcrites sur papier et demeurent en référence. Pour stimuler l'entrevue avec l'expert, il existe différentes techniques. On peut lui demander de décrire des cas spéciaux où il a eu de la difficulté, de donner un but, un problème, les symptômes caractéristiques d'un problème, etc.

Il est important de pouvoir faire un prototype rapide de l'expertise acquise et de le montrer à l'expert pour stimuler son intérêt dans le projet. Par contre, le cogniticien doit, par la suite, recouper l'information donnée par l'expert pour éliminer les ambiguïtés, les sous-entendus, les oublis de façon à ce que le savoir acquis soit clair.

3.6 Validation du système expert

On doit aussi valider les connaissances. Il y a quatre niveaux pour le faire:

- Vérifier que les arbres de décisions construits correspondent aux connaissances de l'expert.
- Vérifier que la programmation correspond aux arbres de décisions.
- Vérifier que le produit final correspond aux attentes et à la réalité de l'expert.
- Vérifier le produit lors d'une utilisation réelle.

On doit passer par tous ces examens pour s'assurer de la qualité du système expert. Évidemment, tout ceci s'effectue en collaboration avec le principal intéressé soit l'expert.

Le contrôle se réalise plus précisément sur les points suivants:

- Exactitude et précision des conclusions associées aux prémisses;
- Raisonnement du moteur d'inférence effectué selon l'arbre de décisions;
- Compréhensibilité des questions et des conseils.

Un document expliquant l'objectif et le contenu du système expert doit être rédigé par la suite pour aider à la maintenance du système expert après sa mise en opération.

Dans ce chapitre, nous avons ainsi passé en revue les différentes composantes d'un système expert et avons discuté des techniques de représentation, d'acquisition et de validation des connaissances.

Chapitre 4

4.0 Description générale de la coquille Comdale/X

Comdale/X version 5.1(beta) est une coquille de système expert développée par Comdale Technologies (Canada) Inc. Elle nécessite l'utilisation d'un ordinateur personnel ayant un microprocesseur de la génération 286 ou suivante, un minimum de 2,5 Mégaoctets de mémoire vive, un disque dur de 40 Mégaoctets, une souris compatible Windows 3,0, un écran VGA, un système d'opération DOS version 3,1 ou plus récente et finalement l'environnement Windows 3,0.

Cette coquille utilise principalement les règles pour construire la base de connaissances. Les concepts sont représentés par des objets qui peuvent être organisés en classe. Chaque objet doit être défini par au moins un attribut qui est associé à son tour à au moins un type de donnée et une valeur. L'ensemble est appelé un triplet.

Par exemple, le triplet **réservoir.contenu.@string = "alumine"** s'exprime comme suit:

objet: réservoir
attribut: contenu
type: @string
valeur: "alumine"

Si on veut utiliser la logique booléenne, le type de donnée est habituellement une caractéristique de l'attribut, c'est-à-dire un mot quelconque. Exemple: **réservoir.niveau.bas is true** s'énonce de la façon suivante:

objet: réservoir
attribut: niveau
type: bas
valeur: true

Les triplets supportent différents types de données, dont voici la liste:

- **@string** Variable caractère
- **@float** Variable numérique
- **@double** Variable numérique en double précision
- **@date** Variable conservant la date
- **@time** Variable conservant le temps
- **mot** Variable booléenne

Au départ, tous les triplets ont la valeur "*not known*". Le moteur d'inférence essaie ensuite de trouver une valeur aux triplets, soit par héritage, soit par un "data source", soit par une question ou soit par une valeur par défaut. À la fin de l'inférence, les triplets possèdent soit la valeur "*unknown*", soit "*true*", soit "*false*" ou soit une valeur numérique ou texte.

Plusieurs options sont offertes pour chacun des attributs d'un objet. On peut associer une question, un démon, un choix multiple ou exclusif, une conclusion, une logique floue, l'endroit où trouver la valeur, etc. Toutes ces options permettent de personnaliser la base de connaissances selon les besoins du programmeur.

Les objets peuvent être ordonnés sous forme de classes et de sous-classes d'objets. Des liens hiérarchiques s'établissent entre les objets et les sous-objets. Ces derniers héritent des attributs, des types de données et des valeurs de même que les options des attributs provenant des objets supérieurs. Toutes les informations héritées sont copiées dans les objets inférieurs. Cette structure a une ressemblance évidente avec les schémas expliqués dans la section 3.4.2. Pour rechercher à travers une structure d'objets, des objets dynamiques doivent être créés. Trois commandes principales animent les objets dynamiques soit ANY, ALL et le point d'interrogation (?).

Le moteur d'inférence utilise le chaînage avant ou arrière. Les deux peuvent s'utiliser simultanément selon les besoins, mais il demeure que la façon la plus appropriée de programmer la base de connaissances dans cette coquille est d'utiliser le chaînage avant. Le moteur d'inférence a aussi plusieurs autres possibilités dont celles de spécifier la façon d'exécuter les règles, soit en largeur

ou soit en profondeur, la première règle à être déclenchée, le moment où l'on désire que l'inférence s'arrête, et la manière de régler les conflits durant l'exécution.

Comdale/X fonctionne dans l'environnement Windows 3.0. Il profite donc de cette interface fenêtrée. Comdale a donc créé des interfaces graphiques qui facilitent l'utilisation et l'édition de la base de connaissances. Il comprend un éditeur de règles, un éditeur de classes, une fenêtre montrant la hiérarchie entre les classes et les objets et une autre montrant les liens entre les règles. Si on veut, on peut bâtir la base de connaissances sans utiliser les éditeurs graphiques. Comdale peut reprendre les règles et les objets créés par n'importe quel traitement de texte capable de sauver un document en mode caractère.

Parmi les fenêtres créées par Comdale, il y a aussi celle nécessaire à l'exécution de la base de connaissances. La fenêtre employée pour poser des questions apparaît automatiquement lorsque cette option est utilisée. La fenêtre présente à l'utilisateur un choix de réponses selon le format nécessaire au triplet concerné (numérique, texte, booléen, etc). Par contre, cette fenêtre ne présente aucune option pouvant la modifier aisément pour mieux s'intégrer aux objectifs du projet. Le programme FORM EDITOR fourni avec Comdale/X offre la possibilité de créer des fenêtres personnalisées, mais il oblige à définir l'ensemble de la fenêtre et ce, pour chaque triplet.

Les règles sont donc le moyen le plus efficace de représenter les connaissances dans Comdale. Celles-ci supportent le "ET" et le "OU" logique dans la prémisse de même que le "ALORS" (THEN) et le "SINON" (ELSE) dans la conclusion. On peut ajouter des coefficients de certitude à chacune des actions d'une règle et l'accumulation de ces incertitudes est indépendante pour chaque attribut. Des priorités peuvent être ajoutées aux règles pour modifier l'inférence. Voici un exemple de règle:

Rule

@name = a1_lampe_r_n

IF aero_cuve.test.alumine

AND aero_cuve.transport.alumine is FALSE

AND aero_cuve.pression.air is FALSE

AND pression.air.manometre
AND lampe.rouge.sur_le_mur is FALSE
THEN TEXT ("Appelez un électronicien pour faire
vérifier la sonde de niveau d'alumine
située dans la trémie #3 et
la sortie opto du contrôleur.

Le schéma suivant montre où est le problème.")
THEN PAINT ("c:\comdale\la4.bmp")
endRule

Cette règle pourrait se traduire dans les termes suivants: si l'aéroglossière de la cuve ne transporte pas d'alumine, qu'il n'y a pas de pression d'air dans l'aéroglossière de la cuve, mais que le manomètre de la cuve indique une pression d'air et que la lampe rouge sur le mur n'est pas allumée, alors on doit appeler un électronicien pour faire vérifier la sonde de niveau d'alumine située dans la trémie #3 et la sortie opto du contrôleur.

Finalement, la coquille Comdale/X possède un "debugueur" performant qui permet de suivre l'évolution des variables et le déclenchement des règles durant l'exécution de la base de connaissances.

Chapitre 5

5.0 Méthodologie de développement du système expert

Le développement du système expert est lié aux connaissances sur le procédé et sur l'opération des cuves. Comme première application des systèmes experts dans l'opération d'une cuve d'électrolyse, le domaine choisi devait être bien délimité. Ensuite, les activités de développement ont pu commencer et portent surtout sur l'acquisition du savoir nécessaire pour construire la base de connaissances. Le travail d'intégration dans la coquille Comdale/X exige un temps de développement, toute proportion gardée, relativement moindre.

Trois phases principales de développement ont été nécessaires pour bâtir le système expert. La première phase consiste à apprendre le fonctionnement de Comdale/X. Le temps consacré à cette tâche est nécessaire si on veut exploiter au maximum les capacités de représentation de Comdale/X, plus particulièrement sur les liens avec l'extérieur de la coquille, l'interface avec l'utilisateur et l'utilisation rationnelle des objets et de leurs options. Le temps mis à comprendre la coquille Comdale/X est récupéré plus tard lors de l'intégration des connaissances. Cette phase a été très fructueuse puisqu'elle a permis la mise au point de la coquille. En effet, la découverte d'erreurs et de limites contraignantes dans la coquille ont pu être corrigées par le manufacturier. Ainsi, de nombreuses nouvelles versions de la coquille nous sont parvenues au fil des mois.

La deuxième phase consiste en l'acquisition des connaissances. Celle-ci s'est faite par des entrevues structurées sur des thèmes précis. Les entrevues sont d'ailleurs retranscrites en annexe 1. Par exemple, une rencontre pouvait être dédiée aux problèmes d'ordinateurs sur la cuve. Le cogniticien pose les questions et l'expert divulgue son savoir qui génère d'autres questions. Cette relation entre les deux partenaires revient continuellement tout au long des entrevues et est schématisée à la figure 11.

Pour s'assurer de la cohérence et pour éviter d'oublier des informations importantes, toutes les entrevues sont enregistrées et retranscrites par la suite sur papier. À partir de ces documents, il est plus facile de déterminer les connaissances utiles ou nécessaires. Ensuite, la représentation des connaissances commence. L'organisation des connaissances s'est faite de façon à

suivre le déroulement logique des événements de la même manière qu'il est vécu par l'expert.

Cette façon de faire présente à l'opérateur la façon normale de rechercher le problème sans le déconcerter. Ainsi, d'après les informations obtenues, quatre catégories de problèmes que l'on peut voir à la figure 12, ont été créées.

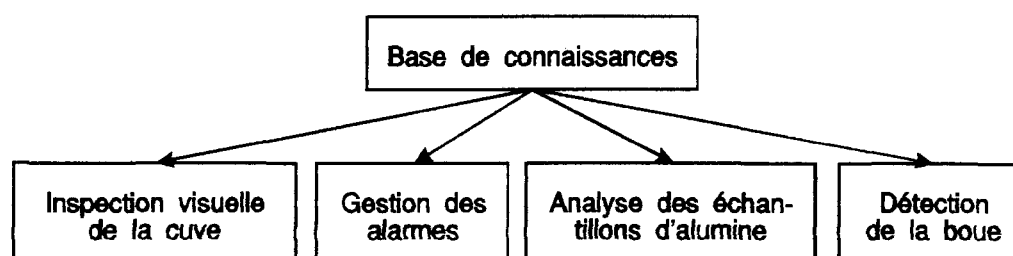


figure 12 : Catégories de problèmes dans la base de connaissances

Ces catégories se présentent dans la base de connaissances sous forme de métarègles. Elles orientent, dès le départ, l'inférence vers le diagnostic associé aux symptômes, évitent de déclencher l'ensemble des règles inutilement et trouvent le résultat plus rapidement. Sous chaque catégorie, on retrouve les règles provenant de la codification de l'expertise. Les experts décrivent les problèmes et les cas vécus. Ils expriment leurs observations directement sans coefficient de certitude. Par exemple, ils diront: "Il y a deux possibilités pour l'aéroglossière: présence ou absence d'air comprimé". Mais, ils ne diront pas: "L'air comprimé est à 60 % de sa capacité." Ils ne peuvent exprimer leurs connaissances sous forme de pourcentage. C'est pourquoi les coefficients de certitude ne seront pas utilisés dans cette base de connaissances et que les questions offriront un choix limité de réponses.

Toutes les connaissances ont été placées dans un arbre de décisions. L'arbre de décisions est la seule façon possible de représenter les connaissances des experts. En effet, ceux-ci font face continuellement à des choix tout au long de leur processus de prise de décisions. Les experts expriment donc les meilleures actions à prendre dans chaque cas. Cette raison force l'utilisation du chaînage avant. De plus, cette représentation est facile à comprendre et à suivre pour les experts surtout lorsque vient le moment de réviser les connaissances apprises.

La figure 13 permet de mieux comprendre le fonctionnement d'un arbre de décisions.

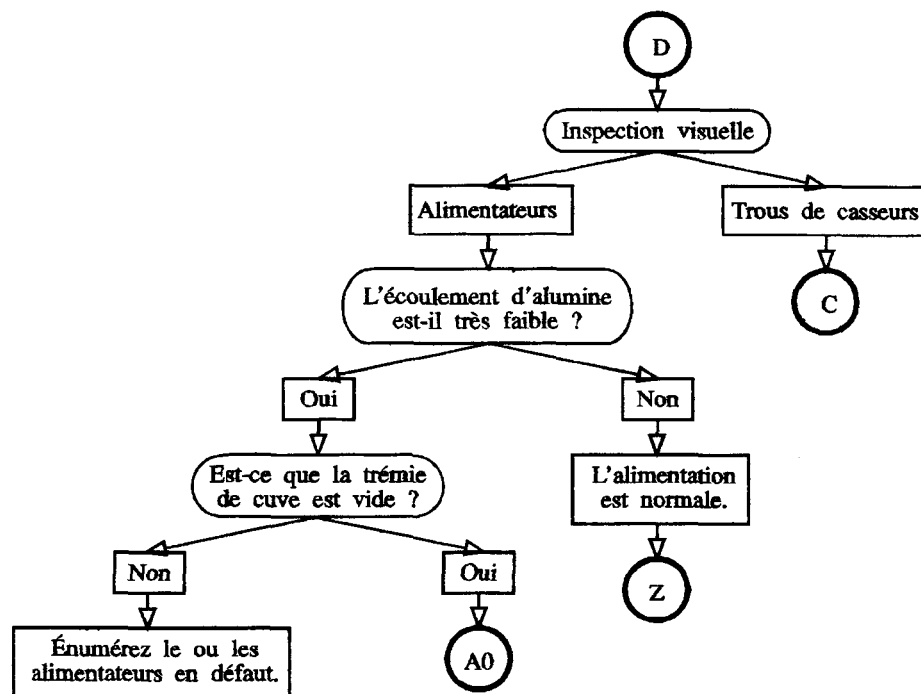


figure 13 : Exemple d'un arbre de décisions

Toutes les branches de l'arbre sont faites de la même façon. Étant donné qu'elles sont nombreuses, chaque branche possède sa propre dénomination désignée par une lettre inscrite dans un cercle épais (ici, c'est D). Le but de cette codification provient de la nécessité de faire des liens entre les branches de l'arbre. Dans le cas présent, si on choisit une inspection visuelle sur les trous de casseurs, il y aura ensuite une connexion à la branche C. De plus, les rectangles

à coins arrondis indiquent une décision et un rectangle à coins droits, un état ou un conseil.

Dans cette branche, on a le choix de faire une inspection visuelle, soit sur les alimentateurs ou sur les trous de casseurs. L'opérateur répond à une suite de questions pour alimenter l'inférence. Si on sélectionne une inspection visuelle sur l'alimentation, alors l'opérateur devra quantifier l'écoulement d'alumine de l'alimentateur et répondre à toutes les autres questions jusqu'à ce qu'une conclusion soit atteinte. L'arbre de décisions de ce projet est présenté en annexe 2.

Dans cette phase de représentation des connaissances, le prototype est construit au fur et à mesure de l'acquisition des connaissances. Sa construction est tellement simplifiée avec l'utilisation d'une coquille que le prototype peut être changé facilement et rapidement selon l'évolution des connaissances sans demander un temps énorme de programmation. C'est l'avantage d'utiliser une coquille. En annexe 3, on retrouve les objets, les procédures, les questions et les règles créés avec la coquille Comdale/X et constituant ainsi le système expert. La préparation rapide d'un prototype avec une coquille se fait aux dépens d'une interface-usager moins adaptée aux besoins du système. La figure 14 présente l'interface qui apparaît lorsque l'on questionne l'utilisateur avec un triplet de type booléen.

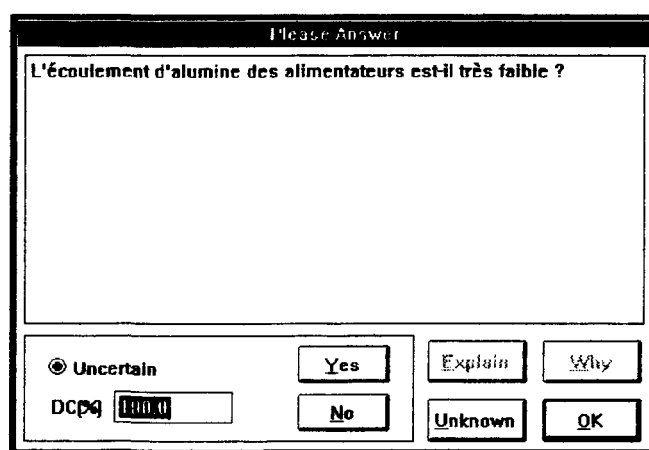


figure 14 : Interface-usager livrée avec Comdale/X

Dans le cas présenté, on ne veut pas utiliser le *uncertain* ni les *unknown*, *why*, *explain* et *ok*. La seule opération désirée est que l'opérateur réponde *Yes* ou

No. Or, dans l'interface livrée par Comdale/X, on ne peut éliminer les boutons non-souhaités ou les modifier pour avoir des termes plus justes ou en français.

On saute régulièrement de l'acquisition des connaissances au prototype en passant par la représentation des connaissances. La figure 15 permet de visualiser cette boucle. Fait à remarquer, la majeure partie du temps est consacrée à l'acquisition et à la modélisation de ces connaissances plutôt qu'à leur programmation directe sur ordinateur. En effet, le tableau 1 présente le nombre de semaines dédiées pour chaque tâche de travail. On remarque que 47% du temps est consacré à l'acquisition et à la modélisation des connaissances.

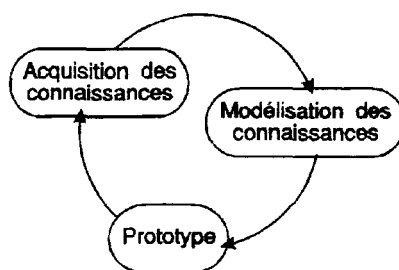


figure 15 : Cycle pour la construction d'un système expert

tableau 1 : Nombre de semaines travaillées par tâche

Tâches	nombre de semaines	% du total
Comdale	6	13
Lecture	6	13
Acquisition	14	30
Modélisation	8	17
Programmation	10	21
Présentation	3	6
total	47	100

La dernière phase consiste donc à valider le système expert. Le processus est sensiblement le même. On soumet à l'expert l'arbre de décisions et le système expert. Celui-ci critique et apporte des précisions aux connaissances.

Chapitre 6

6.0 Résultats

6.1 L'acquisition des connaissances

L'acquisition de connaissances provenant de plusieurs experts demeure un défi de taille, surtout s'il est difficile de les rencontrer tous en même temps, qui est le cas vécu durant ce projet. Chaque expert révise et commente l'expertise divulguée par un autre. L'interprétation de chacun apporte de nombreuses modifications améliorant généralement les connaissances, mais quelque fois avec des opinions contradictoires. Alors, après chaque entrevue, des rectifications s'imposent à l'arbre de décisions et au système expert. Les corrections sur une même branche peuvent revenir à plusieurs reprises selon les avis des personnes rencontrées. On consacre donc plusieurs entrevues pour valider les connaissances et s'assurer que la représentation finale expose correctement les idées de tous les partenaires.

Lorsque plusieurs experts participent au développement d'une base de connaissances, on devrait identifier dès le départ une personne-ressource qui guiderait l'acquisition des connaissances si des divergences d'opinions se produisent. Cette personne jugerait de la prépondérance des connaissances. Cela ne veut pas dire que les connaissances mises de côté soient moins bonnes que les autres, mais qu'elles sont moins pertinentes par rapport aux objectifs du projet. Il s'agit donc d'une personne, autre que le cogniticien et auquel ce dernier peut se référer. Elle n'est pas nécessairement un expert sur la cuve, mais doit posséder une expérience suffisamment vaste dans ce domaine pour pouvoir juger les connaissances. Cette démarche a été utilisée une seule fois et a permis de clarifier les connaissances et de donner une nouvelle direction à l'acquisition. Ce rôle fut joué, dans ce projet, par M. Vinko Potocnik. L'implication d'un nouvel intervenant lors de conflits économise du temps, évite d'approfondir inutilement un

champ de connaissances et fait ressortir plus facilement certains manques dans la base de connaissances.

6.2 Description des connaissances des experts

Le premier expert rencontré se nomme René Belley. Il est contremaître au Centre de Génie Expérimental. M. Belley a développé ses connaissances sur le tas. Il possède une vaste expérience pratique de l'opération d'une cuve d'électrolyse. Il vit quotidiennement les problèmes qu'ils soient mécaniques, informatiques ou sociaux. Son domaine de spécialité concerne les problèmes mécaniques reliés au système d'alimentation en alumine.

Lors de l'inspection de la cuve, des observations visuelles permettent de constater ou de prévoir certains problèmes sur la cuve. Deux problèmes principaux peuvent être remarqués. Premièrement, la quantité d'alumine déversée par l'alimentateur est le premier signe. Si elle est trop très faible, des actions et des vérifications dans l'ensemble du système d'alimentation sont opérées. Cette analyse se fait en remontant le système d'alimentation. On accuse d'abord les trémies, puis les aéroglossières de la cuve et selon les possibilités, on inspecte le contrôleur, le PEP, le petit silo, les compresseurs, le filtre, le réservoir d'alumine fluorée et les valves à ressort. Évidemment, si la durée d'alimentation est normale, rien ne justifie une action.

Deuxièmement, l'inspection visuelle porte également sur les trous des casseurs. Pour alimenter la cuve d'électrolyse en alumine, un casseur pneumatique brise d'abord la croûte et l'alumine entre ensuite dans le bain électrolytique. Mais, il arrive que ces trous se bouchent selon les conditions d'opération de la cuve. Cette situation doit être évitée, car à ce moment, l'alumine s'accumule sur la croûte, forme un monticule au lieu d'entrer dans le bain et ainsi les possibilités d'avoir un effet anodique sur la cuve augmentent alors rapidement. L'expertise recueillie permet de déterminer la cause de ces trous bloqués ainsi que les actions à prendre dans l'immédiat. Tous les moyens employés par l'expert pour déterminer la cause des trous des casseurs bloqués ont été rassemblés de même que ceux servant à identifier ce problème. Les connaissances entourant

l'inspection visuelle des casseurs et des alimentateurs sont formalisées dans les branches A,B,C et D de l'arbre de décisions présenté en annexe 2.

L'opérateur doit faire face à différentes alarmes. Parmi celles-ci, il y a l'alarme de niveau du petit silo extérieur, l'alarme de pression et l'alarme indiquant l'incapacité du système automatique (SLO) à éteindre l'effet anodique en cours. Pour les deux premières, l'expertise récoltée montre les opérations à réaliser pour y répondre correctement. Les branches E,F,H,I en annexe 2 montrent ces connaissances.

Les systèmes automatiques fonctionnent à l'aide d'ordinateurs. Mais, il arrive qu'ils tombent en panne. M. Yvon Paradis, expert dans les ordinateurs de la cuve d'électrolyse, a expliqué les procédures et les actions à prendre lorsque ces situations arrivent. Le premier cas survient lorsque le contrôleur arrête de fonctionner. Le second se manifeste lors de l'arrêt de l'ordinateur central. On peut voir le résultat de son expertise dans les branches J,L,M de l'arbre de décisions en annexe 2.

M. Marc-Yvan Côté, qui est ingénieur de recherche sur la cuve d'électrolyse, a divulgué ses connaissances dans le domaine des effets anodiques, du traitement de l'observation et de la boue. Dans le cas des effets anodiques, il s'agit des procédures pour mieux les contrôler. En effet, des programmes automatiques se déclenchent lorsque l'ordinateur reconnaît la présence d'un effet anodique, mais ils ne réussissent pas toujours à l'éteindre. À ce moment, l'opérateur est seul à faire face à ce problème. Ce domaine d'expertise a été le plus difficile à acquérir puisque le traitement de l'effet anodique varie d'un expert à l'autre. Les connaissances acquises dans ce domaine dans les branches E,N,O et Q en annexe 2.

Avec l'observation, la formalisation de ces connaissances étale le peu d'expertise rigoureuse de ce domaine. En effet, les connaissances recueillies font part davantage des résultats de recherches récentes que de procédures éprouvées. En réalité, les chercheurs développent actuellement des techniques pour mieux comprendre les résultats de l'observation et pour la valider. Les

connaissances n'étant pas arrêté, celles-ci s'intègrent difficilement dans une base de connaissances.

6.3 Représentation

Comme on vient de le voir au chapitre 5, toutes les connaissances ont été formulées dans un arbre de décisions. On peut comparer un arbre à un ordinogramme. Il symbolise donc fidèlement le contenu du système expert. Il est très utile pour la programmation et la maintenance du système expert. La base de connaissances créée avec Comdale/X est présentée en annexe 3.

Le transfert des connaissances énoncées dans ces arbres de décisions à la coquille s'est fait en deux étapes: création de triplets pour les objets et ensuite de règles. L'utilisation de règles est la façon la plus efficace d'utiliser Comdale/X. La relation entre les triplets aurait peut-être pu s'exprimer différemment sur d'autres coquilles, notamment celles utilisant uniquement des schémas.

Chaque branche de l'arbre a pu être traduite à l'aide d'une ou plusieurs règles selon les cas. Les objets possèdent une structure hiérarchique pour permettre au programmeur ou à la personne qui modifiera la base de connaissances dans l'avenir de mieux retrouver les objets dans la base de connaissances. Cette structure utilise la notion d'héritage dans quelques cas seulement, mais il demeure que la majeure partie de l'expertise recueillie ne permet pas son utilisation.

Notre cas fait appel à une suite d'événements, de questions et de réponses avec laquelle les règles sont très performantes. La structure hiérarchique des objets créée pour ce système expert est donc très horizontale. La figure 16 exhibe la représentation d'une portion de structure des objets.

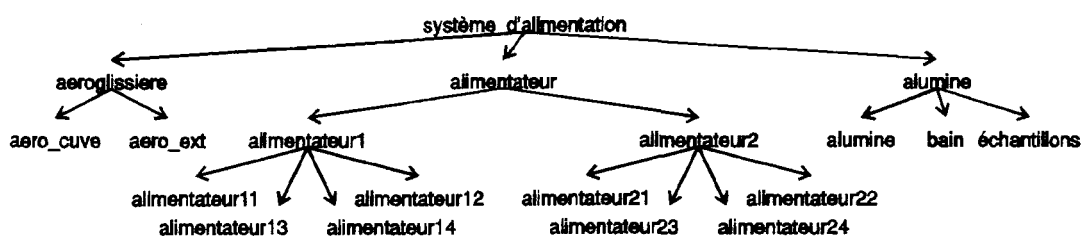


figure 16 : Structure des objets

Aussi l'utilisation de règles simplifiera la tâche de la personne qui mettra à jour la base de connaissances. Les liens entre les objets sont visuels et moins cachés que dans les schémas. On peut voir à la figure 17 les liens entre les règles tels que montrés par Comdale/X.

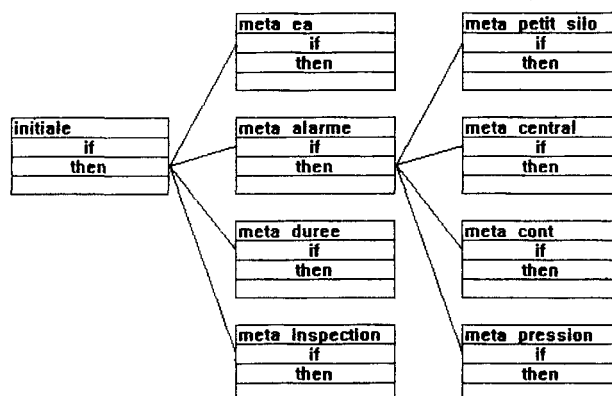


figure 17 : Liens entre les règles

On voit que le déclenchement de la méta-règle **initiale** peut déclencher quatre autres méta-règles qui sont **méta_ea**, **méta_alarme**, **méta_durée**, **méta_inspection** qui correspondent aux catégories expliquées plutôt. Comme on peut le voir dans cet exemple, le déclenchement des règles s'effectue par chaînage avant.

6.4 Inférence

La recherche dans la base de connaissances n'est pas exhaustive, car l'option choisie pour le moteur d'inférence est d'arrêter lorsque le chaînage n'est plus possible. Ceci évite de déclencher toutes les règles, accélère l'exécution, mais demande que toutes les règles soient enchaînées entre elles. Pour relier les règles entre elles, la conclusion d'une règle possède un triplet que l'on retrouve dans le prémisses de la règle suivante. La figure 18 montre deux règles liées. On retrouve par la suite la description de ces deux règles.

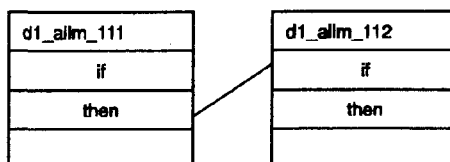


figure 18 : Lien entre la règle d1_alim_111 et d1_alim_112

```

Rule
@name = d1_alim_111
IF alim.frapper.doseur
AND alimentateur11.etat.probleme
AND alimentateur11.annee.@integer == date_aujourd'hui.annee.@integer
THEN alimentateur11.nbr_jours.@integer = YEARDAY (
    date_aujourd'hui.date.@date ) - YEARDAY ( alimentateur11.date.@date )
endRule

```

```

Rule
@name = d1_alim_112
IF alimentateur11.nbr_jours.@integer <= 3
THEN alimentateur11.compteur.@integer = alimentateur11.compteur1.@integer + 1
THEN EXPORT ( "c:\comdale\souvenir.txt+", "alimentateur11.compteur.@i",
    0.000000, 100.000000 )
THEN alimentateur11.alumine.test is TRUE
endRule

```

Ainsi, après l'exécution de la règle d1_alim_111, le triplet **alimentateur11.nbr_jours.@integer** indiquera au moteur d'inférence la règle à déclencher par la suite qui est d1_alim_112.

Pour la mise au point du système expert, cette astuce permet de savoir quelle règle a été déclenchée et de visualiser l'enchaînement de règles que le moteur d'inférence a exécuté. Comdale/X n'a pas de module d'information, mais en regardant les règles que le moteur d'inférence a déclenchées, on peut mieux comprendre ses déductions. Ce suivi se fait d'autant plus aisément que les règles présentées comme sur la figure 17 changent de couleur selon qu'elles sont déclenchées ou non.

Le moteur d'inférence est sélectionné pour résoudre les conflits d'abord en profondeur puis ensuite en largeur. De plus, le moteur d'inférence est sélectionné pour agir ou déclencher les règles en commençant par la plus prioritaire. Ce choix s'explique par la raison suivante. Le système expert traite plusieurs alarmes en même temps, selon des priorités établies. Pour opérer adéquatement, il est préférable de répondre complètement à une alarme avant d'agir sur une autre. Donc, on doit atteindre la fin de la branche d'une alarme avant de commencer à en examiner une autre. La figure 19 explique ce raisonnement.

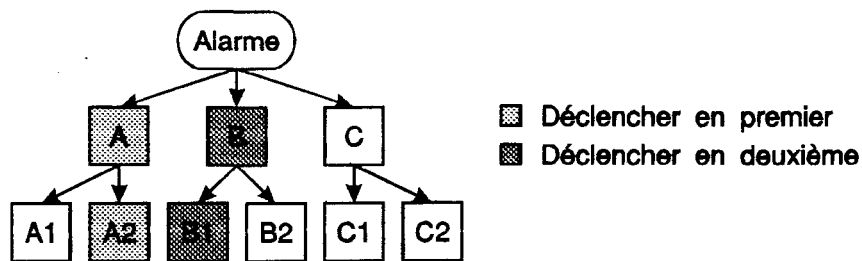


figure 19 : Exemple du déclenchement de règles en profondeur puis en largeur

Dans le cas présenté, l'alarme A et l'alarme B sont sélectionnées et l'alarme A est plus prioritaire que l'alarme B. Le moteur d'inférence essaie donc de résoudre complètement l'alarme A (profondeur) et lorsque c'est fait, le moteur d'inférence examine l'alarme B (largeur).

Cette astuce fonctionne bien, mais dans quelques cas, c'est préférable de déclencher les règles en largeur puis en profondeur. Pour garder le même mode de fonctionnement du moteur d'inférence et malgré tout guider correctement l'inférence, on doit utiliser, dans plusieurs cas, en plus du triplet dans les conclusions, la commande *APPLYRULE* qui force l'inférence sur les règles spécifiées par le triplet. Parfois, on doit aussi lui faire oublier avec *IGNORE* l'existence de certaines règles pour éviter qu'il les exécute trop tôt. Encore une fois, il faut diriger pas à pas l'inférence. On doit continuellement surveiller, au cours du développement du système expert, l'inférence pour vérifier le raisonnement suivi par le moteur d'inférence. Quelque fois, il exécute d'abord la dernière règle et remonte ensuite en chaînage arrière à travers tout le réseau de règles, ce qui l'amène à poser des actions inutiles.

L'utilisation de ce stratagème montre bien les limites des systèmes experts. En effet, l'idée principale d'un système expert est de rentrer les règles dans n'importe quel ordre et le moteur d'inférence est supposé trouver les règles à déclencher et le faire dans le bon ordre. Néanmoins, l'idée même de forcer l'inférence tel qu'appliqué actuellement pour garder une certaine direction dans l'exécution ramène la technologie des systèmes experts à un langage de programmation procédurale.

Le problème étudié dans le cadre de ce projet ne pouvait supporter l'utilisation d'une seule et unique stratégie tout au long de l'exécution de la base. La solution proposée qui est de forcer l'inférence fonctionne bien, mais enlève au système expert quelques-unes de ses qualités quant à l'élimination ou l'ajout rapide de règles sans affecter d'autres règles ou quant à une maintenance facile et même réalisable par des néophytes.

En effet, il faut non seulement savoir quoi écrire dans la règle, mais aussi être en mesure de pouvoir intégrer la règle à travers les autres et en connaître les effets sur l'ensemble de la base. Bref, la base de connaissances ressemble maintenant davantage à un tout uni qu'à un ensemble d'unités distinctes.

D'ailleurs, certaines parties de la base de connaissances sont difficiles à modifier en raison de la présence de boucles (branche N en annexe 2). Un système expert comporte rarement ce genre de liaison. Plusieurs opérations sur les règles et objets pour effacer leur valeur compliquent le cheminement dans la base. Les commandes *FREERULE*, pour rendre éligible une règle déjà déclenchée à être exécutée à nouveau, et *FORGET*, pour éliminer la valeur d'un triplet, réalisent ces objectifs. L'élimination ou l'intégration rapide d'une règle dans cette structure demandent un temps de réflexion non négligeable.

La base de connaissances se divise en modules selon les catégories montrées dans la section 5.1. Ceci a l'avantage de structurer la base de connaissances. De plus, le développement d'un module n'affecte que peu les autres, bien que des liens existent entre eux.

Le fonctionnement de la base de connaissances demande beaucoup d'interactions avec l'utilisateur. Les questions se suivent et exigent l'attention de l'utilisateur. C'est pourquoi il serait heureux de relier le système expert à la base de données de la cuve d'électrolyse. Celle-ci fournirait les données nécessaires à l'inférence en évitant de saturer inutilement l'utilisateur de questions.

Le système expert conçu diagnostique les problèmes, mais aussi il aide à l'opération de la cuve. Il indique étape par étape la ou les actions à prendre pour améliorer la situation. Des boucles ont dû être réalisées de même que de nom-

breuses connexions entre les branches de l'arbre de décisions pour atteindre cet objectif. Ces liens demandent une programmation très suivie pour connaître leurs effets sur l'ensemble de la base de connaissances.

6.5 Interface

D'autres efforts doivent être faits pour donner à l'utilisateur l'interface la plus agréable, la plus utile et la plus facile d'emploi. Le but recherché est de capter l'attention de l'utilisateur et de la garder. Pour atteindre cet objectif, différents moyens ont été utilisés. D'abord toutes les questions sont courtes, emploient le langage courant des opérateurs et peuvent contenir un exemple ou une indication pouvant aider l'opérateur à y répondre. L'exemple suivant montre une question typique.

Est-ce que le SLO est permis ?

Vous pouvez le vérifier par 2 moyens:

*Si vous entendez le bruit des engrenages des suspensions d'anodes qui fonctionnent sur la cuve
ou
si, en consultant le PEP, la densité de courant est très déséquilibrée.*

Dans ce cas-ci, le bruit et le déséquilibre du courant sont des indices pour répondre à la question.

Beaucoup de travail a été fait dans la formulation des questions. La majorité d'entre elles sont formulées pour que l'opérateur ait à choisir uniquement entre *OUI* ou *NON* comme réponse. Ceci peut paraître simpliste, mais l'expert exprimait ces connaissances de cette manière et on cherchait d'abord à obtenir une interface où l'utilisation de la souris serait primordiale et l'entrée de données par le clavier, peu fréquente. La simplicité et la facilité d'utilisation décrivent parfaitement les critères imposés. Évidemment, certaines questions ne se prêtent pas à une telle formulation, notamment celle où l'opérateur doit entrer les poids mesurés en alumine. Toutes les autres réponses se présentent soit sous une forme de *OUI* ou

NON à cliquer ou sous forme de choix multiples. Dans ce dernier cas, l'utilisateur n'a qu'à cliquer sur la ou les réponses représentant la situation.

Une autre contrainte existait dans l'application physique du système expert. En effet, le moteur d'inférence pose une à une les interrogations qui sont nécessaires à l'avancement du raisonnement. En pratique, cette solution est peu efficace, car la salle de contrôle se trouve très éloignée de la cuve. On ne peut demander à un opérateur de se rendre sur la cuve, de prendre une mesure, de revenir, ensuite de l'entrer dans le système expert et de recommencer ce manège 'x'

* *	Répondez aux questions suivantes en encerclant	* *
* *	OUI ou NON	* *
1-	L'aéroglossière de la cuve transporte-t-elle de l'alumine ?	OUI NON
2-	Y a-t-il une pression d'air à l'intérieur de l'aéroglossière de la cuve ?	OUI NON
3-	Est-ce que les trémies se remplissent ?	OUI NON
4-	Est-ce que le manomètre situé au bout contrôle indique une pression d'air ?	OUI NON
5-	La lampe rouge sur le mur du côté contrôle est-elle allumée ?	OUI NON
6-	Le petit silo est-il plein ?	OUI NON
7-	Y a-t-il de l'alumine dans l'aéroglossière extérieure ?	OUI NON
8-	Y a-t-il de l'alumine dans le filtre près du réservoir d'alumine fluorée ?	OUI NON
9-	Le niveau d'alumine dans le réservoir d'alumine fluorée est-il bas ?	OUI NON
* * *	Quand toutes les questions sont répondues	* * *
* * *	entrez les réponses dans le système expert.	* * *

figure 20 : Liste de vérifications

fois jusqu'à ce que l'inférence soit terminée. N'importe qui abandonnerait avant la fin. C'est pourquoi le système expert donne à l'opérateur une liste de vérifications à faire sur la cuve dès que le raisonnement soupçonne un problème. On évite ainsi à l'opérateur de faire plusieurs visites sur la cuve. On peut voir un exemple de cette liste de vérifications à la figure 20. Un programme écrit en Basic permet la sortie de la liste de vérifications sur imprimante. On peut le voir en annexe 5.

Cette liste s'imprime à chaque fois que l'opérateur doit vérifier des points particuliers sur la cuve. Évidemment, il existe plusieurs listes en fonction du genre de problème. Au total, six listes ont été créées pour les situations suivantes: vérification du système d'alimentation en alumine (aéroglossière intérieure et extérieure), vérification du système d'alimentation en alumine (aéroglossière extérieure), vérification d'un trou bloqué, analyse de la cause d'un trou bloqué, analyse des poids des échantillons d'alumine et inspection visuelle de la cuve. Les différentes listes peuvent être vues en annexe 4.

Cet arrangement n'est pas idéal. Il serait préférable que l'opérateur puisse se rendre sur les lieux avec soit un ordinateur portable très compact (genre Microflex) ou encore un émetteur-récepteur qui communiquerait les données dans les deux directions (opérateur-système expert). L'interaction serait plus rapide, éviterait la prise de mesures ou d'observations inutiles et indiquerait immédiatement les actions à prendre.

Dans le système proposé, les conseils et les actions se présentent sous forme de textes et d'images. Les textes utilisent le même langage simple et direct que celui des opérateurs. Pour améliorer la compréhension des conseils, des images apparaissent et précisent le problème, l'endroit et montrent les actions à prendre. La figure 21 montre un exemple de ces images-conseils.

La nouvelle version de Comdale/X offre de meilleures possibilités pour la création d'une interface. Les caractéristiques qui ont été ajoutées, fournissent des facilités pour arranger les questions de la façon que l'on veut et pour animer une séquence d'images. Bref, ces nouvelles commandes permettent de personnaliser plus facilement l'interface avec l'utilisateur.

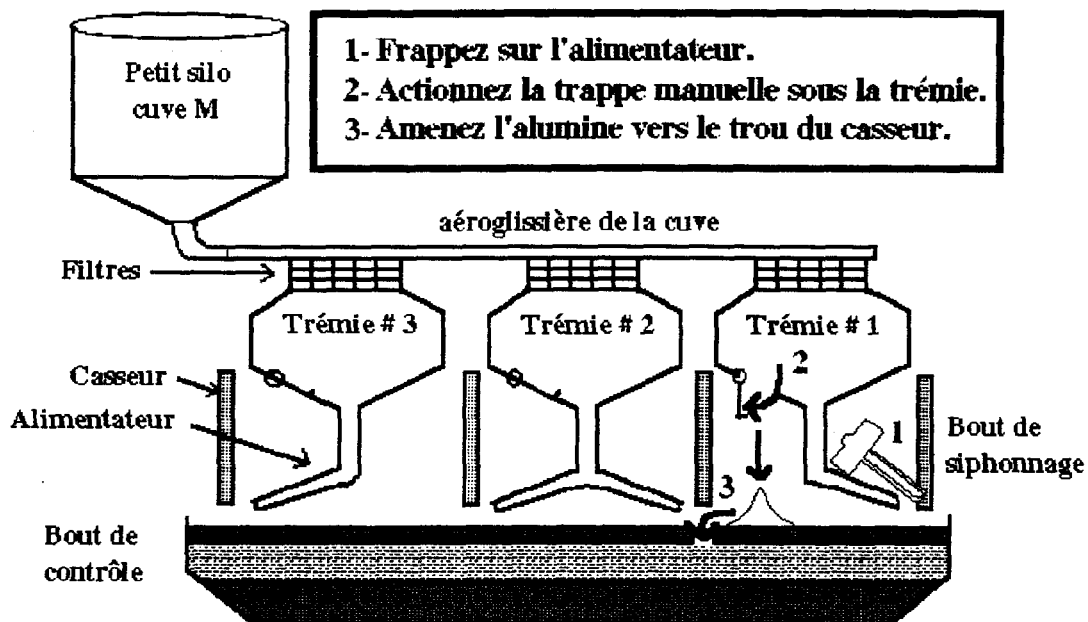


figure 21 : Exemple d'une image-conseil

Les particularités de la base de connaissances sont que les modules développés pour chaque problème sont reliés entre eux, que certaines règles permettent de faire des boucles et que le système expert se souvient de données provenant de consultations précédentes. En effet, pour le dernier cas, dans les branches D3 en annexe 2, si un alimentateur se bloque, l'action à prendre diffère selon le nombre de jours passés depuis le dernier événement semblable sur le même alimentateur. Par exemple, si c'est la première fois en moins de trois jours, on conseille de faire une vérification plus fréquente sur cet alimentateur. Par contre, si c'est plus d'une fois (2 ou 3) en moins de trois jours, l'action à prendre est d'injecter de l'air dans l'alimentateur. Pour ce faire, la base possède un fichier SOUVENIR.TXT qui retient pour chaque alimentateur le nombre de problèmes et la date. Une situation semblable est nécessaire lorsque l'ordinateur central est en problème.

Pour l'incertitude des triplets, les connaissances acquises n'ont pas permis son emploi. Ainsi, pour qu'une réponse soit considérée vraie, le degré de certitude doit être supérieur à 50 %, sinon elle est fausse. De plus, pour faciliter l'utilisation

du système expert, des valeurs par défaut sont utilisées. Voyons de plus près l'interface suivante à la figure 22:

Form		
Done	Undo	Help
* Indiquez par oui (Yes) ou par non (No) *		
* la ou les alarmes qui ont retenti. *		
* * *		
Alarme Effet anodique	<input type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No
Alarme Incapacité du SLO à tuer un effet anodique	<input type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No
Alarme Petit silo extérieur	<input checked="" type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No
Alarme Pression	<input type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No
Alarme Contrôleur en panne	<input type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No
Alarme Ordinateur central en panne	<input type="radio"/> Yes	<input type="radio"/> No
*** Cliquez sur "Done" lorsque toutes les réponses sont complétées. ***		

figure 22 : Exemple d'utilisation de valeurs par défaut dans une interface

Si seule l'alarme du petit silo résonne et que l'opérateur indique oui à ce niveau et puis clique sur "DONE", alors toutes les autres alarmes seront considérées comme n'étant pas en alerte ou fausses.

De même, si l'opérateur ne connaît pas une réponse quelconque, le système expert lui signale que l'inférence continuera, mais avec une valeur par défaut. Il a donc fallu prévoir pour chaque question, une valeur qui, pour le triplet demandé, représente habituellement la situation la plus normale. Par exemple, lors de l'effet anodique si l'opérateur ne répond pas aux questions, les valeurs par défaut feront tendre le résultat vers une situation normale, soit l'extinction de l'effet anodique. Une valeur par défaut ne peut être incluse dans l'option *DEFAULT* d'un attribut. On se sert d'une règle pour le faire. Voici un exemple.

```

Rule
@name = j_valise_oui
IF valise.test.fonctionne
AND valise.etat.fonctionne
OR valise.test.fonctionne
AND UNKNOWN ( valise.etat.fonctionne )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence

vers une situation normale.")

THEN PEP.fonctionnement.connu = KNOWN (PEP.etat.fonctionnement)
endRule

Dans ce cas, si l'opérateur ne sait pas si la valise qu'il a installée sur la cuve fonctionne, alors on considère qu'elle est opérationnelle. La valeur par défaut représente donc la situation la plus probable, c'est-à-dire, dans ce cas-ci, que la valise fonctionne. L'inférence utilise donc cette valeur, mais en avertit d'abord l'utilisateur avec le message qui est inscrit dans la règle avec la commande *TEXT*. Plusieurs règles servent donc à assurer l'inférence même en l'absence de certaines valeurs.

6.6 Analyse des résultats

Le projet initial impliquait la construction d'un simulateur et d'une base de données. Cette solution demeure un objectif à atteindre. La réalisation actuelle est un système expert de diagnostics et d'aide à la décision. Elle constitue la première étape visant la construction d'un système expert plus général. Mais, pour arriver à cet objectif, les experts de la cuve d'électrolyse devront pouvoir conclure avec des données autres que celles du procédé réel, c'est-à-dire des données provenant du simulateur. Actuellement, ils sont peu familiers avec ces informations. Pour développer une expertise valable, ils devront s'habituer à régler les problèmes en se basant sur les anciens et les nouveaux renseignements.

Par rapport au projet du C.R.I.M., soit ADOC³⁴, le système qu'ils avaient soumis devait suivre l'évolution d'une salle de cuves selon les valeurs d'une base de données. Il s'agit de l'étape subséquente à la réalisation du système expert actuel. Présentement, le système expert permet le diagnostic des problèmes d'une seule cuve d'électrolyse soit la cuve A-310 de type M. C'est donc l'étape initiale avant la généralisation pour une salle de cuves. À quelques reprises, on a réfléchi à la possibilité de relier le système expert à une base de données. Mais, le temps disponible et l'intérêt manifesté pour obtenir un système expert hors-ligne ont mis fin à l'idée de le raccorder à une base de données.

Par rapport aux objectifs décrits au début de ce document, le système expert qui a été construit, y répond parfaitement. Il diagnostique les problèmes et conseille l'opérateur quant aux actions à prendre pour ramener la cuve qui est dans une situation problématique, vers un état de fonctionnement normal. Il aide au diagnostic des problèmes mécaniques dans le réseau d'alimentation en alumine, propose des solutions lorsque le système informatique tombe en panne, suggère des actions pour remédier à un effet anodique, guide l'opérateur dans la recherche de l'origine d'un effet anodique et donne des recommandations concernant la boue d'une cuve. Le système expert ne touche pas au domaine de l'observation, mais c'est en raison d'une expertise humaine encore en développement.

Par contre, la validation du système expert n'a pu se faire complètement. L'implantation du système expert en usine aurait constitué la meilleure validation possible. Mais, au Centre de Recherche et de Développement Arvida, des contraintes budgétaires ont mis un terme à cette perspective, car la cuve A-310 type M a été fermée. La validation est donc demeurée au niveau de l'arbre de décisions avec les commentaires de l'expert.

Les connaissances qui ont été acquises sur l'opération de la cuve M, lui sont propres. Bien que certaines soient adaptables à une autre cuve, plusieurs parties sont peu transportables. En effet, durant l'acquisition des connaissances, on remarquait des différences notables dans l'extinction d'un effet anodique selon que l'on étudiait la cuve M ou F. Par contre, les problèmes mécaniques étaient semblables.

L'acquisition des connaissances demeure le défi majeur du projet. La modélisation demande un effort moindre et se fait relativement facilement, habituellement avec peu de contraintes. La programmation exige un effort, somme toute, supérieure à la modélisation, puisque l'on doit passer beaucoup de temps à chercher des solutions pour intégrer les connaissances dans la coquille.

Il y a des avantages et des désavantages à utiliser une coquille de système expert et plus particulièrement, Comdale/X. Le tableau 2 les présente.

tableau 2 : Avantages et désavantages d'une coquille de système expert

Avantages	Désavantages
<ul style="list-style-type: none"> - Fenêtre permettant la visualisation des liens entre les règles et les objets. - Création rapide d'un système expert. - Création rapide d'objets sous forme hiérarchique. - Possibilités de rattacher des procédures aux objets. - Commandes simples. - Langage très évolué facile à comprendre et à apprendre. - Création rapide de règles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Interface peu flexible. - Lien avec l'extérieur de la coquille difficile. - Complexité croissante de la base de connaissances en fonction du nombre de règles. - Aucune commande pour structurer les règles. - Difficulté à suivre les règles sur papier. - Aucune explication sur l'inférence fournie par la coquille.

On remarque qu'il y a beaucoup d'avantages à utiliser une coquille. Par contre, il est regrettable d'avoir une interface aussi peu flexible et aussi difficile à personnaliser. Elle demeure le point le plus important d'un système expert si on désire que les opérateurs l'utilisent. De plus, c'est ce que les utilisateurs voient et c'est ce dont ils se souviendront. Elle doit donc être très conviviale.

Il est évident que l'utilisation d'une coquille est accessible à tous en raison d'un langage de programmation facile à apprendre. Mais, la complexité croissante de la base en fonction du nombre de règles exige que les modifications des règles soient faites par une personne familière avec l'informatique. En d'autres termes, même si la programmation du système expert avec une coquille peut sembler facile, une personne non initiée peut difficilement modifier la base de connaissances en raison de la présence de boucles, de liens entre les modules et de d'autres arrangements compliquant la base, mais nécessaires pour intégrer correctement les connaissances.

L'édition d'une règle se fait aisément, mais les réactions du moteur d'inférence à un changement sont peu prévisibles et exigent multiples vérifications sur l'implication du changement sur l'ensemble de la base de connaissances.

D'ailleurs, il serait intéressant que les règles possèdent une structure inspirée de celle des objets. Des niveaux classeraient les règles et les rendraient plus lisibles. Ainsi, on pourrait faire apparaître uniquement les niveaux de règles nécessaires ou voulues. De plus, il serait agréable de pouvoir faire imprimer facilement cette structure. On pourrait alors suivre l'enchaînement des règles et des objets sur papier ce qui faciliterait la mise au point de la base de connaissances. Actuellement, on ne peut faire imprimer rapidement ce genre de relations sur papier. Si on pouvait corriger ces quelques lacunes, la coquille posséderait un meilleur avantage comparatif par rapport aux langages de programmation traditionnels.

Le système expert construit avec cette coquille ne peut expliquer son raisonnement par lui-même. Le programmeur doit définir entièrement le module d'information. Cela revient presque à construire un autre système expert dans le système expert. Par contre, certaines coquilles expliquent leur raisonnement automatiquement, mais leurs modules ne font que montrer les règles exécutées et les valeurs des triplets. Ce langage ne répond pas toujours aux questions de l'utilisateur. D'ailleurs, des scientifiques recherchent actuellement des moyens pour améliorer ces modules³⁵.

Bref, une coquille permet la réalisation d'un prototype rapide, mais dans le cas de problèmes de plus grande envergure, on doit vérifier ses possibilités avant d'en retenir les services.

Les avantages du système expert sur la cuve d'électrolyse de l'aluminium se stipulent en trois points. Premièrement, la réalisation du système expert a permis de regrouper et d'uniformiser l'expertise sur la cuve d'électrolyse. Chaque expert a son domaine de connaissances, mais chacun a son opinion sur la cause d'un problème ou les actions à prendre sur d'autres situations précises. La communication entre les experts aide à rassembler les meilleures connaissances de chacun. Les expériences sur l'opération d'une cuve sont bien détaillées dans

l'esprit des experts, mais ne sont pas disponibles pour les opérateurs. La construction du système expert a donc atteint ses objectifs: le regroupement et la divulgation de l'expertise.

Deuxièmement, le cadre même du projet a forcé la rencontre des experts, l'échange d'idées, de points de vues et a normalisé le vocabulaire utilisé. En effet, lorsque l'on doit écrire une recommandation, tous doivent s'entendre sur la structure et le sens de la phrase à inscrire pour être certain que tous les opérateurs la comprennent. Par exemple, devait-on écrire, "faites le vide dans la trémie", "appelez Sanivan pour vider la trémie", ou simplement, "faites vider la trémie" ? D'ailleurs, le mot trémie, même si c'est la définition officielle des réservoirs d'alumine au-dessus de la cuve, n'était même pas utilisé par l'ensemble des experts et des opérateurs. Il y a dans ce processus une façon de forcer la communication pour que chacun puisse mettre à jour ces connaissances ou ces idées.

Troisièmement, le support informatique est essentiel à l'utilisation du savoir. En effet, on pourrait croire que les arbres de décisions sont suffisants pour aider l'opérateur dans ses tâches. Mais, ceci l'oblige à faire lui-même l'inférence. Or, dans le passé et même actuellement les opérateurs possèdent de volumineux documents expliquant de façon générale les cuves d'électrolyse. En situation d'urgence, il faut agir et non commencer à chercher dans les livres. Pour les arbres de décisions, le contexte est le même, c'est-à-dire qu'on doit éviter de les laisser fouiller dans les arbres de décisions. Le système expert atteint justement ce but. De plus, il divulgue immédiatement son savoir sur le problème concernant la cuve, sans perte de temps.

L'impact initialement recherché du système expert soit de donner aux opérateurs un outil les aidant dans leur travail, n'a pu être vérifié pratiquement; la fermeture de la cuve l'ayant empêché. Mais, il demeure que sans le système expert, l'expertise développée depuis de nombreuses années par le personnel se serait évanouie en même temps que la cuve. Ainsi, un autre objectif est atteint soit celui de préserver l'expertise, même lorsque des personnes quittent le milieu de travail.

Chapitre 7

7.0 Recommandations pour des travaux ultérieurs

Le système expert a été développé sur la cuve A-310 type M. Étant donné que la cuve d'électrolyse est maintenant fermée, on devrait adapter l'actuel système expert à une autre technologie de cuve; une technologie qui soit utilisée ou en voie de l'être. Puis, on devrait acquérir des connaissances plus larges sur la cuve, d'autres domaines d'expertise n'ayant pas été encore abordés. On pense notamment aux problèmes de température, d'instabilité et de poussière.

Ensuite, on devrait généraliser les connaissances pour une salle de cuves. Par exemple, l'expertise recueillie pourrait indiquer quoi faire avec une salle de cuves à haute température. Cette expertise totalement nouvelle est typique d'une utilisation en usine.

Par la suite, on vérifierait la façon d'implanter le système expert à travers les habitudes des travailleurs. On a parlé un peu plus tôt de moyens pour rendre accessible un système expert. Une étude d'implantation est primordiale pour assurer le succès de l'expérience. Deux options ont déjà été proposées, mais on devrait en analyser d'autres pour garantir un choix optimal qui s'adapte bien à l'environnement difficile d'une salle de cuves.

On devrait aussi étudier les coquilles et les langages informatiques pour trouver le meilleur choix possible pour la programmation du système expert et pour lier avec une base de données. Un environnement informatique très fermé est difficilement acceptable dans ce genre de projet. Le lien avec une base de données est essentiel pour éviter à l'opérateur la recherche inutile de données et pour accélérer les processus d'inférence.

On devrait également développer de la nouvelle expertise basée sur les résultats du simulateur. En se basant sur des faits vécus, on devrait à l'aide du

simulateur expliquer les cas et élaborer des situations typiques avec des actions à prendre qui y seraient rattachées. Celles-ci deviendraient des références qui pourraient être prouvées physiquement et par le fait même, devenir une nouvelle expertise. Actuellement, le système expert fait face aux situations problématiques. Dans l'avenir, à l'aide du simulateur et de l'expertise développée, on pourra les prévoir et mieux les contrôler.

Chapitre 8

8.0 Conclusion

La présente étude a permis la réalisation d'un système expert sur la cuve d'électrolyse A-310 de type M, qui diagnostique les problèmes et aide à la décision. Le Centre de Recherche et de Développement Arvida possède maintenant un système expert qui rassemble l'expertise sur l'alimentation en alumine d'une cuve et plus particulièrement sur les problèmes mécaniques du réseau d'alimentation en alumine, sur les alarmes de la salle de contrôle, sur les effets anodiques et la boue d'une cuve d'électrolyse. Cette expertise est maintenant intégrée dans une coquille de système expert et est disponible à tous ceux qui s'intéressent de près ou de loin au contrôle d'une cuve d'électrolyse.

Le système expert diagnostique d'une façon séquentielle les problèmes grâce principalement aux observations faites par l'opérateur. D'ailleurs, tout le système a été construit en relation avec l'opérateur. Les questions utilisent leur langage courant. L'interface divulgue les conseils sous forme de textes et d'images pour faciliter leur compréhension. Et, étant donné que le système expert ne peut être près de la cuve d'électrolyse, les questions sont groupées sur une liste qui s'imprime automatiquement et leur évite des déplacements inutiles.

La programmation d'un système expert n'est pas aussi facile qu'on pourrait le croire en raison de sa structure non-procédurale. Sur ce point, l'ajout de commandes pour organiser les règles améliorerait la coquille. De plus, le choix de l'inférence caractérise bien une partie de la base, mais difficilement une autre. Ceci occasionne des conflits à l'intérieur de la base de règles qui, pour être éliminés, obligent l'écriture de plusieurs règles ou commandes qui embrouillent la compréhension de la base de connaissances.

La base de connaissances combine le savoir de plusieurs experts et donne à l'opérateur accès aux meilleures actions à prendre lorsque des situations urgentes

ou des problèmes surviennent. Ainsi, l'expérience acquise avec les années est disponible à tous.

Finalement, le système expert qui a été conçu, est la première étape d'un projet d'une grande ampleur qui aidera davantage les opérateurs à contrôler efficacement la cuve d'électrolyse. En reliant le système expert à une base de données et à un simulateur, on pourra mieux comprendre l'état de la cuve et indiquer de meilleures actions à prendre.

Bibliographie

- ¹ Brassard, Raymonde, Système de contrôle des cuves, usine Laterrière, mars 1989, p.18
- ² Tikasz, Laszlo, Bui, Rung T., Potocnik, Vinko, Expert systems applied to control of aluminium smelters, Light Metals 1990, p.197
- ³ Tikasz, Laszlo, Bui, Rung T., Potocnik, Vinko, Barber, Mike, A process Simulator of Aluminium Cells for Expert-System-Based Supervision, IFAC/IFORS Conference, Budapest 1991
- ⁴ Lebensold, Julian, Huise, Jennifer, Gisiger, Anne, Étude de faisabilité, Assistant à la Décision d'Opération des Cuves d'électrolyse, Centre de Recherche Informatique de Montréal, avril 1990
- ⁵ Comdale/X, Expert System Development Tool, Comdale Technologies, Toronto, 1991
- ⁶ Paquette, Gilbert, Roy, Lucien, Systèmes à base de connaissances, (Beauchemin), Laval, 1991, p.11
- ⁷ Harman, Paul, King, David, Expert Systems, Artificial Intelligence in Business, John Wiley & sons inc., New York, 1985, p.16
- ⁸ Ingemar, A.E., Hulthage, Mark S. Fox, Micheal D. Rychener, The architecture of Aladin, a knowledge-based approach to alloy design, IEEE EXPERT, Los Alamitos, août 1990, p.56
- ⁹ Lan, M.S.R., M. Panos, Printing Press Configuration, a knowkedge-based approach, IEEE EXPERT, Los Alamitos, février 1990, p.65
- ¹⁰ Côté, Pauline, Roy, Gilles, Un système expert pour la gestion d'un module d'enseignement universitaire en adaptation scolaire et sociale, ICO Québec, Ste-foy, novembre 1988, p.43
- ¹¹ Dvorak, Daniel, Kuipers, Benjamin, Process monitoring and diagnosis a model-based approach, IEEE EXPERT, Los Alamitos, juin 1991, p.66
- ¹² Crittenden, Jayne Knight, Brian, Cowell, Don, ESCAR: An Expert System fo the Control of Aluminium Reduction, Personnal Computers in Industrial Control, Butterworths, Toronto, 1988

- ¹³ Rolland, W.K., Steinsnes, A., Larsen, A.S., Paulsen, K.A., Opdahl, P.O., Smith-Meyer, H., HALDRIS - An expert system for process control and supervision of aluminium smelters, Lights Metals 1991,p.437,
- ¹⁴ Bonnet, Alain, Haton, Jean-Paul, Truong-Ngoc, Jean-Michel, Systèmes experts, vers la maîtrise technique, Intereditions, Paris, p.42
- ¹⁵ Goupil, Diane, Introduction aux systèmes experts, Centre de Recherche Informatique de Montréal, Montréal, décembre 1988
- ¹⁶ Goodall, Alex, The Guide to Expert Systems, Learned Information, Oxford and New Jersey, 1985, chapitre 4
- ¹⁷ Comdale, Séminaire sur les systèmes experts, Jonquière, QC octobre 1990
- ¹⁸ Martin, James, Oxman, Steven, Building expert system, a tutorial, Prentice Hall, New Jersey, 1988, p.27, figure 1.4
- ¹⁹ Rychener, Michael D., Expert systems for engineering design, Academic Press, Boston, 1988, chapitre 1
- ²⁰ Ng, T.S., Cung, L.D., Chicharo, J.F., DESPLATE, an expert system for abnormal shape diagnosis in the plate mill, Conference record of the 1989 IEEE Industry Applications Society, Annual Meeting, Part II, New York, p.1439
- ²¹ Martin, James, Oxman, Steven, Building expert system, a tutorial, Prentice Hall, New Jersey, 1988, p.26
- ²² Harman, Paul, King, David, Expert Systems, Artificial Intelligence in Business, John Wiley and Sons, New York, 1985p.30-33
- ²³ Hart, A., Acquisition du savoir pour les systèmes experts, Masson, Paris, 1988, p.4-5
- ²⁴ Waterman, Donald A., A Guide to Expert System, Addison-Wesley Publishing Compagny, Menio Park, Californie, 1986, p.63
- ²⁵ Winston, Patrick Henry, Intelligence artificielle, Intereditions, Paris, 1988, p.167 à 187
- ²⁶ Hart, A., Acquisition du savoir pour les systèmes experts, Masson, Paris, 1988, p.35
- ²⁷ Paquette, Gilbert, Roy, Lucien, Systèmes à base de connaissances, Beauchemin, 1991, fig.2.12, p.97

- ²⁸ Hodoïn D., Flament F., Frames for the representation of knowledge, GRAIIM, Département de Mines et Métallurgie, Université Laval, QC, Canada
- ²⁹ Le Seac'h, Michel, Développer un système expert, méthodes et exemples, éditests, Paris, 1989, chapitre 5
- ³⁰ Winston, Patrick Henry, Intelligence Artificielle, Interéditions, Paris 1988, p.251
- ³¹ Mailloux, Denis, Représentation des connaissances 1, Centre de Recherche Informatique de Montréal, Montréal, mai 1990
- ³² Martin, James, Oxman, Steven, Building expert system, a tutorial, Prentice Hall, New Jersey, 1988
- ³³ Hart, A., Acquisition du savoir pour les systèmes experts, Masson, Paris, 1988, p.31
- ³⁴ Lebensold, Julian, Huise, Jennifer, Gisiger, Anne, Étude de faisabilité. Assistant à la Décision d'Opération des Cuves d'électrolyse, Centre de recherche informatique de Montréal, Montréal, avril 1990
- ³⁵ Kasel, Gilles, Deux directions de recherche pour l'explication du raisonnement, Laboratoire de Recherche en Informatique, Équipe Intelligence Artificielle et Système d'inférences, Université de Paris-Sud, Les systèmes experts et leurs applications, 8èmes Journées Internationales 1988, Avignon, volume 3, p.305

ANNEXE 1

Entrevues

Résumé

L'annexe 1 présente les textes d'entrevues réalisées avec les experts durant la période du 13 mai 1991 au 21 novembre 1991. Toute l'expertise nécessaire à la construction de la base de connaissances a été tirée de ce document. Ces textes proviennent de la retranscription des enregistrements des entrevues. On a reproduit tel quel les conversations avec les experts. On ne doit donc pas tenir compte d'incohérences dans le contenu des propos ou d'erreurs de syntaxe ou de grammaire.

Table des matières

Résumé.....	69
Table des matières	70
Entrevue du 13 mai 1991 avec Vinko Potocnik.....	71
Entrevue du 15 mai 1991 avec Vinko Potocnik.....	73
Entrevue du 16 mai 1991 avec René Belley.....	78
Entrevue du 28 mai 1991 avec René Belley.....	81
Entrevue du 21 juin 1991 avec Yvon Paradis	88
Entrevue avec V. Potocnik et Marc-Yvan Côté le jeudi 25 juillet 1991.....	94
Entrevue avec V, Potocnik et Marc-Yvan Côté le jeudi 1 août 1991.....	101
Entrevue du 24 septembre 1991 avec M Marc-Yvan Côté, M Yvon Paradis et M Vinko Potocnik.....	108
Validation des connaissances avec René Belley et Vinko Potocnik le 25 septembre 1991.....	112
Entrevue du 8 octobre 1991 avec Marc-Yvan Côté et Yvon Paradis.....	115
Validation du 15 octobre 1991 avec M. Marc-Yvan Côté et Yvon Paradis.....	123
Validation avec M. René Belley et M. Vinko Potocnik le 12 nov. 1991	127
Validation avec M. René Belley et M. Vinko Potocnik le 19 nov. 1991	130
Validation avec M. René Belley et M. Vinko Potocnik le 21 nov. 1991	134

Entrevue du 13 mai 1991 avec Vinko Potocnik.

Boue:

Les opérateurs prennent une valeur par jour lors du changement d'anode. C'est une valeur qualitative à un point particulier. Ça ressemble à ceci: un peu, beaucoup, un obstacle.

Ils utilisent une tige d'acier lors d'un changement d'anode, ou par le bout de siphonnage ou un trou fait par un casseur/alimentateur pour sonder la cuve. La tige d'acier indique même l'interface bain/métal et métal/boue. Il y a des marques qui apparaissent. C'est une boue légère s'il y a une faible résistance dans la tige et une boue-gelée si c'est solide au fond.

Remarque: Si une phase d'observation est longue, on doit porter attention à la détection de la boue.

Observation normale:

C'est un mode automatique. On coupe l'alimentation et on regarde la résistance. Si la résistance augmente rapidement alors la concentration s'approche de 2%. À ce moment, l'alimentation rapide débute (1.25 X) (X=alimentation normale). Ceci devrait permettre à la cuve d'arriver à une concentration de 3%. Ceci est basé sur l'hypothèse que l'on connaît le volume du bain et que l'on est arrivé près de l'effet anodique (bonne détection).

Mécanisme automatique: Après une observation, un ajustement sur la quantité d'alumine est fait. Cet algorithme d'ajustement de l'alimentation en alumine est basé sur les valeurs d'alimentation passées (hier et avant-hier).

Si le temps d'observation est très long, alors il y aura diminution du taux d'alimentation (5 ou 10 kg par heure).

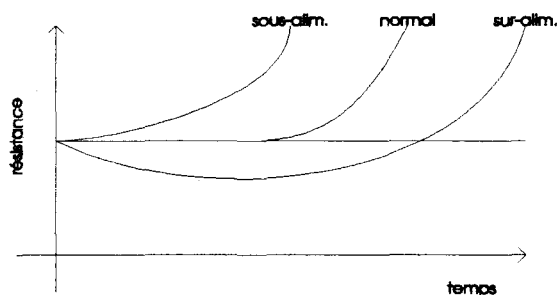
Il y a modification de l'alimentation 1 fois par observation.

Parfois, l'opérateur peut couper plus radicalement (50kg/heure).

Un temps d'observation trop court est d'environ de moins de 30 minutes. Un temps trop long est plus de 2 heures.

Observation continue:

C'est un moyen de détecter la concentration d'alumine dans le bain. On fait une alternance de cycle (suralimentation et sous-alimentation) (1.25X pendant 20 minutes et par la suite 0.75X avec analyse de l'évolution de la résistance en fonction du temps.



Suivant la courbe de résistance enregistrée durant l'observation, on peut conclure à une alimentation normale, une suralimentation ou une sous-alimentation. Une forte montée indique l'arrivée prochaine d'un effet anodique. L'observation doit s'arrêter avant que l'effet anodique débute.

Si une observation se termine automatiquement, normalement sans effet anodique ou anormalement avec effet anodique, la durée de l'observation servira à déterminer le changement dans l'alimentation. L'opérateur va agir quand la situation se détériore, c'est-à-dire lorsque qu'il y a un effet anodique trop difficile à éteindre automatiquement ou encore lorsque c'est trop difficile de suivre les courbes de résistance en raison des courts-circuits ou du bruit.

Limites de l'observation: Il existe une limite dans le temps (3 à 4 heures maximales), car la température augmente. L'observation est alors arrêtée et on continue l'alimentation normale avec quelques kg en moins par heure.

Entrevue du 15 mai 1991 avec Vinko Potocnik.

Observation:

Il existe trois paramètres pour détecter la fin d'une observation.

- différence absolue = 0.3 ou 0.4 $\mu\Omega$ sur une possibilité de 8.5 $\mu\Omega$ qui est la résistance de la cuve. C'est le ΔR par rapport à la résistance de départ. ($R \pm 0.3 \mu\Omega$)
- pente de la courbe. (cf. courbe de l'entrevue du 13 mai 1991) On fait un lissage exponentielle. M. Marc-Yvan Côté travaille sur ce point. C'est mathématique. Il calcule la pente sur les données disponibles dans les dernières dix minutes. Un lissage est fait pour minimiser l'influence du bruit. Le calcul utilise une proportion plus grande de valeurs récentes que de valeurs anciennes. La valeur de la pente reste à déterminer.
- Accélération de la résistance de la cuve. La valeur de cette dérivée seconde qui permet d'arrêter la phase d'observation reste à déterminer.

Aucune action n'est habituellement prise sur la cuve. On fera quelque chose seulement si un état exceptionnel se produit, comme l'apparition du bruit sur le signal de résistance. Ce bruit arrive de temps à autre. Habituellement, l'opérateur ne fait rien.

Outre le phénomène du bruit, des courts-circuits se produisent si le voltage tombe en bas de 3.5 volts et si la résistance tombe en bas de la gamme inférieure. Alors, on doit remonter les anodes plusieurs fois de 2.5 mm (100mV) à chaque fois. Pour différencier entre une baisse normale des anodes et un court-circuit, on vérifie la rapidité de la variation de la résistance. Ce test reste à être déterminé ainsi que les limites.

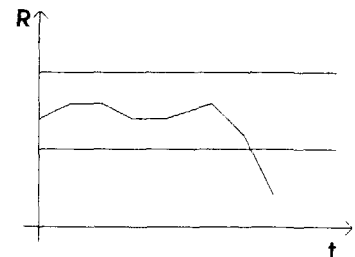


fig.: Résistance en fonction du temps.
Approche d'un court-circuit

On doit ignorer les déplacements de l'anode durant un court-circuit lors de l'analyse de l'observation. On soustrait ces changements de la somme cumulative. Ça fait partie de l'algorithme

automatique. Tout mouvement d'anode se produisant durant une observation ne doit pas être comptabilisé. Si le signal est trop bruité, on a de la difficulté à reconnaître l'approche d'un effet anodique. Plus on a du bruit, plus on doit lisser.

On ne contrôle pas bien:

- 1- La fréquence d'effet anodique est trop élevée et ceux-ci sont aléatoires. On ne contrôle donc pas bien l'alumine.
- 2- La durée d'une observation est très variable. On ne sait pas encore si la logique de contrôle est ajustée selon une manière optimale. La vitesse de réponse de la logique par rapport à la courbe changeante est-elle adéquate ? Le lissage ne peut enrayer le problème d'oscillations du signal.
- 3- Les conditions des cuves changent.

C'est quoi ?	1- température
	2- quantité de gelée et de croûte
	3- volume de bain (mesure du niveau de bain)
	4- boue
	5- problèmes mécaniques d'alimentation

Le seul paramètre que l'on connaît est l'effet anodique. Pour éviter l'effet anodique, on utilise l'observation. Si la résistance de la cuve suivait toujours une courbe assez standard, il y aurait beaucoup moins de problèmes. Le seul problème serait le lissage en fonction de la vitesse de réponse. Le problème est que la courbe de résistance change en fonction des conditions des cuves que l'on ne voit pas.

S'il arrive un effet anodique:

- 1- Un programme automatique démarre (S.L.O. ou Suppression des Lumières par Ordinateur).
- 2- L'opérateur doit agir à la fin du programme, car ce n'est pas toujours facile d'éteindre un effet anodique. Il intervient dans 30 à 40 % des cas.

Pour différencier un effet anodique d'un court-circuit:

Si c'est un court-circuit, à la fin, on hausse les anodes et le voltage est entre 4 et 5 volts.

Si l'effet anodique est long, le voltage sera de 15 volts stable.

Si cette situation arrive, on baisse les anodes jusqu'à ce que l'instabilité arrive puis on les remonte et le voltage va descendre à la normale plus rapidement qu'en les laissant à zéro.

Ou bien la cuve est sous effet anodique ou bien en court-circuit et lorsque l'on remonte les anodes, un effet anodique réapparaît et le système automatique repart.

Là où il y a un problème, c'est que les opérateurs réagissent de façon différente. Le système expert pourra faire ressortir la procédure à suivre. La procédure devrait être différente selon la façon que se présente l'effet anodique. On doit regarder les possibilités d'où on peut chercher l'information là-dessus pour ces cas. S'il le faut, on ira chercher dans les bases de données (voltage et résistance).

Lorsque l'effet anodique est déclaré, alors le programme d'alimentation rapide est déclenché pendant 1 heure et est suivi d'une alimentation à 1.25X (1 heure au total).

Les opérateurs vont prendre action sur l'alimentation seulement si

- un casseur bloqué
 - un alimentateur bloqué ou arrêté
- (ex.: détection du bris: On a une observation normale durant la nuit et 2 heures plus tard, il y a un effet anodique. (N'oublions pas qu'il y a eu une alimentation rapide pendant 1 heure à la fin de l'observation), il y a donc un problème mécanique.
- Ça pourrait être une cuve chaude pendant une période prolongée.
 - Ça pourrait être une cuve instable pendant une période prolongée. Alors il va vérifier physiquement sur la cuve.
 - S'il y a une sous-alimentation et un effet anodique plus fréquent, on regarde l'alimentateur.

Si une cuve à une instabilité de plus de 15 ($0.15 \mu\Omega$) (normalité = 0.02 à $0.03 \mu\Omega$) pendant une période prolongée, l'opérateur devrait agir sur l'alimentation. Dans les conditions où il détecte de la boue et une température élevée pendant une période prolongée, les opérateurs n'agissent pas.

Les données qui sont prises régulièrement comme:

- niveau de bain
- niveau de métal
- température
- chimie du bain

sont rentrées dans l'ordinateur et c'est tout. Aucune action ou calcul n'est fait à partir de ces données.

Voici les actions que peut prendre l'opérateur:

1- Traitement de voltage (50,100,200 mV)

L'opérateur monte le voltage de la cuve pendant une certaine période (ex.: 2 heures). Il le fait à l'aide d'un programme d'ordinateur.

ex.: si instabilité

si cuve trop froide

si cuve trop boueuse

si cuve trop de gelée (difficulté à changer l'anode de coin), alors ils font un traitement de voltage pour réchauffer la cuve.

2- (pas encore accepter)

ex.: si la cuve est chaude

si la cuve est stable et reste stable après un essai de descente de voltage, alors, on peut baisser le voltage de 50 à 80 mV.

Par rapport au nombre d'effets anodiques, si on a une fréquence d'effet anodique élevée, ceci peut être associée à une sous-alimentation générale ou c'est un signe que les propriétés de l'alumine ont changé. L'inverse n'est pas vrai. On vérifie que la quantité d'alumine déversée par chaque alimentateur 2 fois par semaine.

Les opérateurs préfèrent avoir une bonne intensité d'effet anodique (voltage élevé), car ils ont l'impression que ce processus nettoie la cuve. Il le provoque en montant le plan anodique. La croyance des opérateurs est qu'une faible intensité implique des problèmes avec la cuve.

Il existe une sonde à l'entrée de la cuve pour dire si l'alumine entre ou pas dans les réservoirs placés au-dessus des alimentateurs.

Le raisonnement se fera sur l'allure des courbes de résistance versus l'état de la cuve. Y a-t-il une façon à utiliser différentes logiques de contrôle d'observation ? (suivie de la courbe de résistance)

état général X	classe A	logique A
état général Y	classe B	logique B
instabilité > 15, déclenche courbe d'observation classe C		

Est-ce qu'il y a une logique qui peut s'inspirer de la logique automatique ou l'opérateur doit se poser: " Qu'est-ce que je fais? "

Entrevue du 16 mai 1991 avec René Belley.

Alimentation en alumine:

La description, qui suit, constitue une description des éléments physiques selon la chronologie d'utilisation.

Un premier réservoir de 30 tonnes est alimenté en alumine pure par l'usine Vaudreuil. Ce réservoir envoie de l'alumine à tous les 12 heures dans l'épurateur et le cyclonaire. L'alumine restera dans l'épurateur durant 12 heures. Une sonde de niveau permet de savoir la contenance en pourcentage d'alumine dans le réservoir. L'épurateur contient une certaine quantité de sacs sur lesquels l'alumine vient se coller. Les gaz comportant du fluor passent à travers l'alumine. Celle-ci capte le fluor. Par la suite, une pression d'air vient faire tomber l'alumine à toutes les 4 ou 5 minutes et de la nouvelle alumine vient s'y greffer. L'alumine qui tombe est retournée vers le haut pour un nouveau cycle. C'est le cyclonaire qui fait ce retour.

Après 12 heures, l'alumine est envoyée dans un nouveau réservoir. Celui-ci peut contenir 30 tonnes d'alumine fluorée. Ce réservoir possède aussi une sonde qui indique la contenance en pourcentage d'alumine.

Une aéroglissière amène l'alumine fluorée du réservoir de 30 tonnes à un petit réservoir contenant 2 tonnes associé à chaque cuve (M ou F). Cette quantité d'alumine accorde une autonomie de 8 heures aux cuves. Une autre sonde permet de connaître le niveau de ce petit réservoir et déclenche l'aéroglissière si elle indique un niveau bas. L'horaire programmé de l'aéroglissière est une action tous les 4 heures. L'aéroglissière est légèrement penchée (2°) et permet une circulation facile de l'alumine sans obstruction.

À partir de ce petit réservoir, on remplit d'autres petits réservoirs situés au-dessus de la cuve qu'on appelle trémies. On alimente ces trois réservoirs pendant 30 minutes à toutes les trois heures. Si l'opération prend plus de 30 minutes, alors une inspection doit avoir lieu pour vérifier qu'il n'y ait pas de blocage. Le premier réservoir alimente le 1^{er} alimentateur, le deuxième réservoir, le 2^{ème} et le 3^{ème} alimentateur et finalement le troisième réservoir alimente le 4^{ème} alimentateur. Il existe un ordre de remplissage des trémies. Le système est conçu pour remplir d'abord la première trémie puis la deuxième et finalement la troisième qui est la plus près du petit silo extérieur d'alimentation en alumine. Une sonde au niveau du troisième trémie arrêtera l'ali-

mentation lorsque celui-ci sera plein, alors l'aéroglossière s'arrête. On a installé des grillages au niveau de l'entrée de l'alumine dans les trémies ainsi que dans les trappes de visite pour éviter que des débris obstruent les alimentateurs.

Les alimentateurs sont formés d'une chambre volumétrique de forme allongée et contenant 1,8 kg d'alumine. Pour alimenter la cuve, de l'air comprimé est injecté pendant 10 secondes dans l'alimentateur. À ce moment, 1,8 kg d'alumine tombe dans la cuve et un surplus provenant de l'intersection de l'alimentateur et du réservoir tombe aussi. Cette quantité est de 0,2 kg. Donc, au total, 2,0 kg d'alumine sont introduits dans la cuve. Pour modifier la quantité totale d'alumine injectée dans la cuve, on doit changer la fréquence d'alimentation. Le casseur fonctionne toujours avant l'injection de l'alumine dans la cuve.

Problèmes mécaniques:

Les trous sont bloqués:

Les raisons sont en ordre d'importance:

- 1- Le niveau du bain est trop bas, c'est-à-dire inférieur à 16 cm. La cible normale est de 18 à 20 cm de bain. Le niveau du bain dépend de la condition de fonctionnement des cuves. On mesure le bain tous les jours avant le siphonnage.
- 2- La pointe du casseur est usée. Au bout de 6 à 8 mois, on doit changer le bout du casseur. Initialement la pointe du casseur est de forme carrée, mais, après utilisation, elle a une forme pointue. Le casseur perce un trou en forme de pointe qui en étant trop petit, favorise l'accumulation de l'alumine sur la croûte et ainsi que son blocage.
- 3- Le ratio du bain est trop élevé, c'est-à-dire supérieur à 1.20. Un ratio trop élevé favorise la formation d'une croûte dure. Le casseur ne peut plus la casser et l'alumine ne rentre plus dans le bain. Ce problème est surtout rencontré lors du démarrage d'une cuve.

Une croûte dure peut aussi survenir lorsqu'il y a trop de changement d'anodes dans le même voisinage. Par exemple, si autour d'un casseur, on change les 4 anodes l'entourant en 4 jours, alors la température sera baissée localement dans cette région et la croûte sera plus dure.

On mesure le ratio du bain tous les jours.

Manque de pression

Une sonde de pression avertit à l'aide d'une alarme si la pression descend sous les 70 lbs/po². La pression normale est de 90 lbs/po².

Obstruction

À chaque quart de travail, l'opérateur vérifie visuellement que chaque alimentateur donne la bonne quantité d'alumine. S'il s'aperçoit qu'il y a une faible alimentation ou aucune alimentation alors une vérification est faite.

Si l'alimentation est faible, alors on mesure la quantité d'alumine donnée par l'alimentateur. Un récipient est mis sous l'alimentateur et la quantité d'alumine déversée par l'alimentateur est récupérée. Cette alumine est pesée. Ce test est fait 4 fois et fait partie des vérifications régulières (2 fois/semaine). On vérifie aussi dans les filtres situés au niveau des réservoirs et de l'aéroglossière si des saletés ou objets embarrassent le cheminement de l'alumine.

Entrevue du 28 mai 1991 avec René Belley.

Présentation de la dernière entrevue:

Dans le grand réservoir extérieur contenant de l'alumine pure, il n'y a pas d'alarme. Il y a un tableau de lectures au surpresseur. Ce tableau montre le pourcentage d'alumine contenu dans le réservoir d'alumine pure et dans celui d'alumine fluorée. L'inspection de routine au début de chaque quart permet de vérifier le pourcentage d'alumine dans ces gros réservoirs.

Une alarme existe et est située au petit silo près des cuves. Elle indique un bas niveau d'alumine dans le silo.

La réserve au bas de l'épurateur contient 5000 kg d'alumine (5 tonnes). Ensuite, l'aéroglossière extérieure est actionnée aux quatre heures pendant environ trente minutes. Le senseur du petit silo arrêtera l'aéroglossière dès qu'il sera plein, soit habituellement avant 30 minutes.

On doit indiquer sur le schéma les bouts siphonnage et contrôle sinon on ne peut s'y retrouver sur le schéma. Le bout contrôle est appelé ainsi, car l'automate de contrôle est situé à cet endroit ainsi que les valves solénoïdes qui contrôle l'alimentation en air comprimé pour les doseurs. C'est à cet endroit que l'on peut actionner manuellement les alimentateurs ou les casseurs.

La sonde, qui permet de déclencher ou d'arrêter l'aéroglossière du dessus de la cuve, est située à l'intérieur de la trémie # 3. Autrefois, on actionnait l'aéroglossière à toutes les 20 minutes pendant 2 minutes. Ceci a été changé, car on ne vidait pas assez souvent la réserve d'alumine dans les trémies. Il se créait une accumulation d'alumine le long des parois qui restait là pour une bonne période. Les vérifications ont donné que l'on pouvait aller jusqu'à 3 heures sans actionner l'aéroglossière ce qui permet de vider les trémies et d'éviter les accumulations.

Donc, à toutes les 3 heures pendant 30 minutes, on actionne l'aéroglossière. On descend le pourcentage d'alumine dans les trémies à environ 15 %. À ce niveau, la sonde commandera le déclenchement de l'aéroglossière ou la séquence normale de 30 minutes aux 3 heures. Si la durée de l'alimentation dure plus de 30 minutes, ceci indique qu'il y a un problème. Ce genre de problème n'est jamais arrivé. La durée d'alimentation est suffisamment longue pour remplir les trémies. Si jamais ça arrive, on vérifierait l'entrée d'alumine dans l'aéroglossière, car si on a pas eu

assez de temps pour remplir les trémies, c'est que l'on manque d'alumine dans l'aéroglossière. On vérifie donc à l'intérieur de l'aéroglossière le transport de l'alumine par une porte de visite. Si l'alumine rentre dans l'aéroglossière, il va vérifier par une trappe de visite les réserves d'alumine à l'intérieur des trémies. Peut-être que les trémies sont sur le point d'être pleines ou que l'alumine commence à rentrer. Si l'alumine n'arrive pas est que le petit silo extérieur en contient, il y a un engorgement d'alumine entre le petit silo et l'aéroglossière.

Si les trous dans la croûte sont bloqués (au lieu des problèmes d'alimentation), alors il y a les 3 possibilités vues la dernière fois: niveau et ratio de bain et usure de la pointe du casseur.

On fait une vérification des alimentateurs une fois/semaine par calibrage. On prend la quantité d'alumine qui sort de l'alimentateur et la pèse (4 échantillons). Le poids devrait être 2 kg. Si les 4 échantillons ont des valeurs constantes, on ne va pas plus loin, car le régime s'adaptera automatiquement. L'important, c'est que ce soit constant. Si le débit est inégal (ex.: 1- 2kg, 2- 1.5kg 3- 1.7kg...), alors il faut prendre action du côté mécanique (vérification s'il y a une saleté). Si le poids est constant et s'il se situe entre 1.8kg à 2.0kg, il est accepté. À 1.6 kg, on est du côté bas, et on regarde du côté mécanique. On injecte de l'air à l'intérieur de la réserve d'alumine de l'alimentateur (doseur). Ceci permettrait de dégager la saleté (fonctionne bien). Par contre, si c'est une saleté comme un morceau de bain, le doseur sera à surveiller, car la saleté pourra venir se positionner à nouveau dans l'ouverture. On doit alors faire le vide, on laisse descendre l'alumine et on arrête l'aéroglossière pour avoir un bas niveau d'alumine dans les trémies et on aspire l'alumine restante pour dégager la saleté. Les grillages à la jonction de l'aéroglossière et de la trémie et au niveau de la trappe de visite de l'opérateur évite l'introduction de saletés dans l'aéroglossière ou les trémies. À tous les jours, le grillage de la trappe de visite est vérifié au début de chaque quart.

Il est déjà arrivé qu'on manque d'alumine durant un effet anodique. La situation était la suivante. Un effet anodique est arrivé et le SLO a démarré. L'ordinateur n'a pas réussi à tuer l'effet anodique et il y a une alarme qui avertit l'opérateur l'incapacité de l'ordinateur à tuer l'effet anodique. À ce moment, pour l'opérateur, la première action est de vérifier s'il y a de l'alimentation dans la cuve. Il fait une inspection visuelle de chaque alimentateur et des casseurs (bons trous, bonne pénétration dans la croûte). Si après, il s'aperçoit qu'il n'y a pas d'alumine qui entre, sous chaque trémie, il existe une trappe manuelle qui permet de faire tomber de l'alumine dans l'allée centrale. Donc, à l'aide d'une baguette, il fait basculer une petite porte, et qui dégage l'alumine. À

ce moment, l'alumine tombe dans l'allée centrale, mais pas nécessairement vis-à-vis des trous de casseurs. L'opérateur amène ensuite l'alumine avec une baguette au niveau des trous.

Ceci permet normalement de tuer l'effet anodique dans l'immédiat. Après, il fait les démarches normales pour voir d'où provient le problème de l'effet anodique. Elle se fait rapidement. Le plus pressé est de tuer l'effet anodique. Il est peu probable que l'alumine ne tombe pas de cette façon, car au début de chaque quart, on vérifie la réserve d'alumine dans les trémies et ceci permet une autonomie de 12 heures.

Après avoir tuer l'effet anodique, il va actionner l'aéroglossière visionner si l'alumine rentre. Si elle n'entre pas, il va vérifier les petits silos extérieurs. Si son petit silo est vide, il va actionner l'aéroglossière extérieure. Si elle fonctionne, il faut qu'il la défasse pour voir où ça bloque. Advenant un bris d'ordinateur, la sonde déclenchera l'aéroglossière extérieure pour remplir le petit silo.

S'il y a une panne d'ordinateur du contrôleur de la cuve, la valise entre en action. On débranche le contrôleur de la cuve pour brancher la valise. Elle prend l'action manuel de faire fonctionner les casseurs et les alimentateurs. On peut avoir une alimentation normale ou double, une possibilité d'actionner chaque casseur ou chaque alimentateur individuellement, d'actionner le plan anodique au complet ou chaque anode individuellement si on parle de la cuve M. Lorsqu'on a un bris d'ordinateur, la valise le remplace. Il y a une alarme qui indique l'arrêt de l'ordinateur central. Le contrôleur de la cuve est contrôlé par l'ordinateur central. Ce contrôleur continuera à emmagasiner les données pour les envoyer dans le central, mais le central ne donnera pas d'alarme si on a un manque d'alumine ou un bris du contrôleur.

Si l'ordinateur central fonctionne et le contrôleur tombe en panne, le central donnera une alarme pour indiquer cette panne. Si le central est déjà en panne et que le contrôleur vient en problème à son tour, alors on ne peut générer une alarme. Si durant cette période il y a un effet anodique, et à ce moment, l'opérateur agit de façon manuelle, c'est-à-dire qu'il ouvre la trappe manuelle des trémies, il va ensuite faire ses inspections, il va se rendre compte que son alimentation fonctionne bien, il va donner une séquence à l'aéroglossière, ce dernier ne fonctionnera pas et il va se rendre compte que son contrôleur ne fonctionnera pas. Il va changer le contrôleur, car la valise fonctionne avec le contrôleur. La valise est utile si l'ordinateur est en panne. Yvon Paradis pourrait parler davantage de l'ordinateur central, des contrôleurs de cuve, des valises, des PEP ainsi que les interactions entre chacun.

On peut vérifier si le contrôleur fonctionne avec le programme informatique # 457. Si le central tombe en panne, le programme ne fonctionne plus, donc on ne peut le savoir. Le seul problème que l'on ait eu avec les contrôleurs, est que durant l'été la chaleur, il devient trop chaud et on a ajouté de la ventilation pour le refroidir.

Si l'alarme du petit silo extérieur se déclenche, l'opérateur doit aller vérifier la quantité d'alumine à l'intérieur du silo pour voir si l'alarme est réelle. Il va directement à la source du problème. S'il est vide, il demande le fonctionnement de l'aéroglossière. Si l'aéroglossière ne transporte pas d'alumine, il va aller voir sous le réservoir d'alumine fluorée si la sortie est bloquée.

Il y a un filtre à la sortie du réservoir d'alumine fluorée et la sortie du filtre va à l'aéroglossière. Si l'alumine n'arrive pas dans l'aéroglossière extérieure, alors l'alumine est peut-être bloquée dans le filtre. Avec la porte de visite située sur le dessus du filtre, on peut vérifier s'il contient de l'alumine. Si c'est le cas, le problème se situe à l'intérieur du filtre.

Si au contraire le filtre est vide, alors le problème se situe au niveau du réservoir d'alumine fluorée. On vérifie alors si ce réservoir contient de l'alumine. En effet, il arrive que la sonde indique que le réservoir est plein à 80 % et qu'en réalité, qu'il soit vide. Les sondes ultrasoniques sont installées depuis 3 semaines environ. Les dernières sondes causaient beaucoup de problèmes. Le filtre n'est jamais inspecté ou nettoyé. En ce moment, il n'enregistre pas de problème avec le filtre. L'alumine circule dans le filtre, mais il ne sait pas s'il est réellement fonctionnel. Peut-être même qu'il s'agit d'un dépôt avant de continuer son chemin.

Le système d'alimentation est identique sur la cuve M que sur la cuve F.

Si on a 3 ou 4 effets anodiques, au deuxième ou au troisième effet anodique, on va vérifier les doseurs. Si le deuxième effet anodique arrive en moins de 12 heures suite au premier effet anodique, on va vérifier les doseurs visuellement. Si ça ne marche pas, on va vérifier du côté mécanique, on envoie de l'air et vérifier les valves solénoïdes qui sont situées dans le panneau de contrôle et qui contrôlent le temps que l'on injecte de l'air dans les doseurs. Il y a une valve par alimentateur et une valve par casseur. Le temps d'injection de l'air est d'environ 60 secondes. Il va l'actionner manuellement et va chronométrer le temps d'injection de l'air. Si le temps n'est pas correct, il y a un problème de valves et la partie mécanique vont venir faire l'inspection ou changer la valve.

Chronologie

- Pas d'alumine qui sort des alimentateurs
- Vérification de la réserve d'alumine
- Si la réserve est pleine, il ne va pas voir plus loin, car ce qui presse, c'est d'alimenter la cuve en alumine.
- Donc le problème est entre la réserve et la sortie. Donc, on vérifie l'alimentateur s'il y a une saleté. Il frappe dessus, il va faire injecter de l'air et si ça demeure un problème, c'est-à-dire que ça ne veut pas fonctionner, le mécanicien devra vérifier les valves qui ne donnent pas l'ordre de sa séquence d'injecter de l'air.

Pression

Il existe une alarme à 70 lbs/po². À ce moment, il va y avoir une vérification qui va se faire directement au compresseur. Il y a 2 compresseurs dans la salle. Ils vont vérifier si les deux fonctionnent selon la demande d'air. Lorsque le premier arrive à 85 lbs/po², le deuxième doit démarrer. Si on passe à 85 puis à 80 lbs/po² d'air et que le deuxième ne démarre pas, alors on a un problème de démarrage, un problème de compresseur.

Donc, s'il y a une alarme, l'opérateur va essayer de démarrer son compresseur. Si le compresseur refuse de démarrer, c'est la partie mécanique (mécanicien) qui entre en fonction. S'il y a un bris assez important, on place un compresseur temporaire fonctionnant au diesel. S'il y avait une fuite d'air, c'est visible et c'est bruyant. De plus, les 2 compresseurs seraient en fonction.

Il n'y a pas de priorité sur la distribution de la pression d'air (on ne peut donner une priorité à l'alimentation de la cuve en cas de manque de pression). On doit de toutes façons casser la croûte et ceci exige une bonne pression (véritable 90 lbs/po²) pour les casseurs. Si la pression est inférieure à 70 lbs/po², alors la cuve a des problèmes pour actionner ses casseurs et par le fait même d'alimentation, car l'alumine ne peut pénétrer dans le bain. On doit alors régler le problème de pression, car on ne peut opérer avec un manque de pression.

Si l'alimentation est constante à 1,5 à 1,6 kg, alors ce doseur sera à vérifier. Il n'y a pas de modification faite à l'alimentation directement reliée au calibrage. L'ajustement va se faire selon le bilan à la suite d'une observation ou d'un effet anodique non provoqué. Le calibrage des doseurs se fait dans un but de détection des problèmes mécaniques.

L'observation en continue effectuée: elle donne un surplus d'alimentation, elle coupe son régime et elle regarde sa résistance. Par la suite, on donne une alimentation rapide dépendante du comportement de la valeur de résistance pendant la coupure de régime. Si à la fin d'une observation complète, l'ordinateur va faire le bilan: pendant mes observations, j'ai été obligé de donner toujours un surplus d'alimentation, car il trouvait qu'il était toujours du côté pauvre, c'est à ce moment que le régime va augmenter. L'opérateur n'a pas le droit de changer le régime de base. Ce qu'il peut faire, ce sont des traitements positifs ou négatifs en alimentation. Donc, l'opérateur peut penser que la cuve est pauvre, et vérifier la tendance de la résistance par une suralimentation, il va donner un régime de 100 kg de plus pour 1 heure ou 30 minutes. Il peut aussi couper l'alimentation. Ces actions sont compilées par l'ordinateur et lorsqu'il fait son bilan, il va s'apercevoir qu'il a eu beaucoup de traitements positifs et changera le régime en conséquence. L'ordinateur a une possibilité d'augmenter le régime de 4 kg au maximum à la fois. La période utilisée pour faire le bilan est de 18 heures au minimum. Après une observation ou un effet anodique, le bilan peut changer après 24 heures ou 36 heures.

Si on fait une observation et que 8 heures plus tard, on redemande une observation, alors il n'y aura pas de changement du régime, car ça ne fait pas 18 heures que le dernier changement a été fait. Avec l'observation en continue, il n'y a pas d'ajustement. C'est uniquement avec l'observation régulière.

Les valves peuvent être réparées par la partie mécanique ou électrique selon le type de problème. Les sondes peuvent être défectueuses. Pour détecter une sonde défectueuse, habituellement la sonde va indiquer que le réservoir est plein à 80% (elle est bloquée), et à un moment donné, il y a une alarme dans le petit silo (manque d'alumine), donc, de par ses inspections, l'opérateur va remonter et se rendre compte qu'il n'y a pas d'alumine qui sort du réservoir. À ce moment, il va voir dans le grand réservoir et il va s'apercevoir qu'il est vide, même s'il indique plein à 80%. Une autre façon de le détecter est que le 80% se présente consécutivement trop souvent. On ne manquera pas nécessairement d'alumine, car le transfert d'alumine se fait régulièrement aux 12 heures peu importe les niveaux du silo (si 95% et +, il empêche le transfert). Donc, on peut travailler un certain temps avec une sonde défectueuse sans s'en apercevoir.

Il existe une seule alarme reliée à l'alimentation: alarme de bas niveau du petit silo. Dans un avenir rapproché, des alarmes de niveau devraient être installées sur les trémies pour indiquer quelle trémie est vide.

Si la durée de l'alimentation de l'aéroglossière au-dessus des cuves est plus de 30 minutes, ce n'est pas sûr qu'il y a une alarme de générer. Lorsque le petit silo génère une alarme, il n'est pas sûr si une commande n'est pas faite automatiquement sur l'aéroglossière extérieure. Jean-Pierre Munger gère toutes les sondes. Yvon Paradis s'occupe des ordinateurs.

Résumé Vinko Potocnik

3 choses qui influencent l'alimentation:

- 1- Il y a un problème mécanique.
- 2- Les trous sont bloqués
- 3- Les ordinateurs sont en panne. Pas d'alarme.

Entrevue du 21 juin 1991 avec Yvon Paradis

Le système informatique est un système distribué. Il y a un ordinateur central avec des ordinateurs de cuve. En ce moment, il y a une seule cuve, mais il pourrait y en avoir cinq cents et on aurait cinq cents ordinateurs de cuve. Le but de l'ordinateur central est de conserver les données. L'ordinateur de cuve envoie au contrôleur ses données à une fréquence fixe à l'ordinateur central. L'ordinateur échantillonne chaque cuve, une à la suite de l'autre.

Toutes les données sont conservées. Il y a des programmes d'entrées manuels (P.E.M.) que les opérateurs, les techniciens, les opérateurs ou les ingénieurs peuvent demander et qui montrent l'état de la cuve. Les rapports sont sortis sur demande. À tous les matins, des tâches, des programmes sont exécutés pour venir compiler les données. Par exemple, la moyenne du voltage de cuve de la journée. Il y a eu une lecture par 36 secondes, une moyenne par 36 secondes. Il additionne toutes les données et il divise par le nombre de lectures et ceci donne la moyenne de la journée. Ceci est aussi conservé. Il y a de la place pour conserver les données pour sept ans ou soit toute la durée de vie de la cuve.

Si l'ordinateur central tombe en panne, il n'y a aucune alarme de générer. L'ordinateur central gère les alarmes. Il y a des alarmes qui proviennent du contrôleur de cuve, mais le contrôleur de cuve n'a pas accès à l'instrumentation pour partir l'alarme sonore. Il avertit l'ordinateur central que le petit silo manque d'alumine. Par exemple, si le petit silo manque d'alumine et que l'ordinateur central est en panne, les opérateurs n'ont pas moyen de le savoir.

Que fait le contrôleur ? Toutes les opérations, qui se font sur la cuve, passent par le contrôleur. Par exemple, s'il y a un effet anodique, c'est lui qui va s'occuper de l'éteindre. Il va faire aussi le contrôle de résistance normal, ainsi que l'alimentation en alumine, mouvements d'anodes, observation, siphonnage.

Si l'ordinateur central est en panne, le contrôleur va s'apercevoir qu'il y a un effet anodique et va prendre action. C'est automatique. L'ordinateur central ne s'occupe pas du contrôle de la cuve. Toute la programmation de contrôle de cuve est dans le contrôleur de cuve.

Si le contrôleur de cuve tombe en panne, on doit placer la valise. À vrai dire, la première action à faire si on a une alarme que le contrôleur est en panne, est de changer le contrôleur c'est-

à-dire d'en placer un nouveau contrôleur. Si on change le contrôleur et que ça ne fonctionne toujours pas, alors on est obligé de brancher la valise.

La valise permet de contrôler la séquence d'alimentation en alumine. Elle remplace le contrôleur. Elle contient une certaine intelligence concernant l'alimentation en alumine et fait bouger les anodes, mais dans le cas des anodes, il n'y a pas d'intelligence là-dedans. C'est-à-dire que tant que tu tiens le bouton-poussoir, les anodes se déplacent.

En résumé, s'il y a une alarme, l'ordinateur central doit fonctionner. Si on a une alarme du contrôleur, la première chose à faire est de changer le contrôleur. Ça prend 2 à 3 minutes pour changer un contrôleur. C'est très rapide. Il peut vérifier si le nouveau contrôleur qui a été installé, fonctionne en regardant sur le PEP. Le PEP, c'est un terminal avec un écran tactile. On l'appelle aussi le terminal dans le champ dans la salle de cuve. Il est branché au contrôleur de cuve. On peut faire des actions par le PEP. On peut faire bouger les anodes, entrer les températures du bain, demander l'état siphonnage. Il y a un PEP par cuve.

À la minute que le contrôleur est parti, l'opérateur actionne le PEP. Il charge la programmation dans le PEP et il va vérifier certaines choses et va s'apercevoir que le contrôleur fonctionne. La séquence de vérification est la suivante. Il va y avoir un menu à l'écran. Il va regarder le voltage de la cuve, demander le courant que les anodes tirent. Avec ces mesures, il va voir que le contrôleur qu'il a installé, fonctionne correctement.

Si ça ne fonctionne pas, il peut y avoir plusieurs cas. Par exemple, si l'alimentation (120 volts) du contrôleur n'est plus là, le contrôleur ne partira pas. Même si tu branches la valise, ça ne marchera pas non plus, car l'alimentation n'est pas là. S'il y a pas de courant, tu appelles les gens de l'électronique.

Il n'y a pas d'autres cas où un contrôleur ne pourrait pas fonctionner. Supposons que l'alimentation est présente et que le contrôleur ne fonctionne pas, alors on doit brancher la valise. C'est une action temporaire. C'est un backup manuel dans le cas d'un bris majeur.

Dans la cuve M, l'ordinateur ajuste les anodes de façon indépendante. Au changement d'anodes, l'ordinateur positionne automatiquement la suspension à la bonne place. Sur la cuve F, on a un pont fixe et aux quatorze jours, ils doivent décrocher les anodes, remonter la barre qui tient les anodes et raccrocher les anodes. Ils le font avec la valise. Durant cette période, ils dé-

branchent l'ordinateur, car l'ordinateur ne sait pas de combien il faut monter, et on branche la valise pour pouvoir monter cette barre là. Ils se servent donc régulièrement de la valise soit aux quatorze jours sur la cuve F et pratiquement jamais sur la cuve M.

Le contrôleur contrôle la résistance et l'alimentation. Si le contrôleur est en panne, la cuve n'est plus contrôlée. Il n'y a plus d'alimentation, les casseurs ne fonctionnent pas, les alimentateurs ne fonctionnent plus. Tout est hors fonction.

Si l'ordinateur central tombe en panne, il y a des actions à prendre. Il y a d'abord une alarme de générer pour dire que l'ordinateur central est en panne. Ils doivent alors faire un démarrage de la machine ("reboot"). C'est l'opérateur qui fait cela. Il a juste un bouton à tourner. Il y a toutes sortes de raison pour qu'un ordinateur arrête.

Par exemple, s'il y a une carte qui cesse d'être alimentée et que l'ordinateur a besoin à un moment donné de cette carte là. L'ordinateur veut avoir accès à cette carte et qu'il n'y a plus d'alimentation sur la carte. Si le problème est sérieux, l'ordinateur ne repartira pas, malgré un redémarrage forcé. Un problème d'alimentation sur une carte est un problème sérieux. Si le problème est sérieux, alors il appelle Yvon Paradis.

En résumé, s'il y a une alarme, ils vont essayer de repartir l'ordinateur central. Si ça marche, c'est correct. Si ça ne marche pas, on doit appeler Yvon Paradis. Si Yvon n'est pas là, ils sont mal pris. Il n'y a plus aucun relevé, aucun voltage, aucune donnée qui arrive à la salle du contrôleur. À ce moment, ils vont faire toutes les commandes avec le PEP. Ils vont vérifier l'état général de la cuve avec le PEP.

Supposons que l'ordinateur central tombe en panne et que ne peut le repartir, et qu'en même temps, que le contrôleur tombe en panne, ils doivent se rendre sur place. Ils peuvent vérifier l'état de la cuve à l'aide d'une lampe sur la cuve. Il y a deux lampes sur une cuve. Il y a la lampe effet anodique et une lampe rouge qui indique qu'il y a une situation exigeant une intervention manuelle sur la cuve. Si l'ordinateur (contrôleur) est arrêté, cette lampe est allumée. Il y a d'autres situations où cette lampe s'allume. Par exemple, l'ordinateur n'a pas réussi à éteindre un effet anodique. Dans ce cas spécifique, si l'ordinateur central fonctionne, il y aurait une alarme sonore à la salle des opérateurs et la lampe rouge qui s'allume. Cette lampe fonctionne tout le temps, même si le central est en panne. Si le central est en panne, l'alarme sonore ne sera pas là, car elle est gérée par le central, mais la lampe rouge s'allumera.

Cette lampe rouge indique 4 situations: le contrôleur est hors fonction, le SLO a été incapable d'éteindre un effet anodique, le niveau est bas dans le silo ou la cuve est sur l'état alimente seulement. L'état alimente seulement veut dire, le moteur des anodes est hors fonction. C'est un état de régulation. Ceci veut dire qu'il n'y a pas de contrôle de résistance qui se fait. Il y a seulement de l'alimentation en alumine qui se fait, parce que le démarreur du moteur est fermé. L'ordinateur ne peut donc actionner les anodes. Ce moteur sert à contrôler les anodes.

Si l'ordinateur central est en panne, si le contrôleur est en panne, il y a une lumière rouge qui s'allume et les opérateurs vont se rendre sur place pour vérifier lequel des quatre cas est présent.

L'autre lampe est une lampe de voltage. Si la cuve est à 20 volts, l'intensité de la lampe sera plus forte que si la cuve est à 8 volts. Ça n'indique pas nécessairement qu'il y a un effet anodique. Si cette lampe allume, elle indique qu'il y a un effet anodique.

La lampe rouge va s'allumer s'il le contrôleur est arrêté, quelque soit sa raison (alimentation, problème informatique ou autres). Lorsque le contrôleur va être remplacé par un autre qui est opérationnel, la lampe va s'éteindre toute seule.

Si l'ordinateur central est en panne, que le contrôleur est en panne et qu'un effet anodique arrive, alors il utilise la valise. Il ajoute de l'alumine dans la cuve. La valise peut mettre l'alimentation à un régime rapide ou normal, actionner les casseurs ou déplacer les anodes. La valise ne garde aucune information. Elle ne fait que des actions manuelles. L'aéroglossière est aussi programmée dans la valise. Par exemple, l'alimentateur # 1 revient 5 (pas sûr) fois, l'aéroglossière va partir. C'est-à-dire que lorsque tous les casseurs/alimentateurs ont été utilisés au moins 5 fois, alors la valise déclenche l'aéroglossière. La sonde dans la trémie # 3 fera alors arrêter l'aéroglossière. La sonde vient couper le courant sur l'aéroglossière. C'est un interrupteur standard. On va mettre la valise en place pour une très courte durée.

Dans les prévisions, on a prévu un trouble de contrôleur par année. Par contre, si on a 300 cuves, on a donc 300 troubles par an et un trouble par jour. On doit donc changer l'ordinateur seulement. Ce n'est tellement pas long que ça ne vaut même pas la peine de mettre la valise. Ça n'inclut pas l'utilisation de la valise pour remonter le bus bar de la cuve F. En théorie, ce travail devrait être fait par l'ordinateur. C'est tellement simple de le faire avec la valise, car ici, il n'y a qu'une seule cuve.

Si le contrôleur tombe en panne et que l'ordinateur central l'est aussi, on peut le détecter avec la lampe, le PEP qui ne fonctionnera pas ou visuellement, avec les casseurs qui ne sont plus actionnés. On ne doit pas attendre qu'un événement (genre effet anodique) se produise sur la cuve pour s'avoir que le contrôleur ne fonctionne pas.

La sonde déclenche l'alarme si le niveau du petit silo est bas. Si le contrôleur est en panne, l'alarme ne se déclenchera pas. Les opérateurs ne sauront pas que le petit silo manque d'alumine. L'ordinateur sur ces cuves est critique. Il ne peut être en panne. On ne peut opérer une cuve sans ordinateur. On doit se dépêcher de régler ce genre de problème. On peut avoir une panne d'une heure, mais pas de 24 heures. Si jamais le petit silo devenait vide durant cette période, il ne pourrait pas le savoir. Il s'en apercevrait en voyant qu'il n'y a pas d'alumine et de faire une série de vérifications mécaniques et en remontant la chaîne de l'alimentation en alumine.

Pour l'alarme de pression, celle-ci est indépendante de l'ordinateur central.

L'ordinateur central a aussi une autre fonction. Quand l'ordinateur de cuve (contrôleur) arrête, on change le contrôleur et l'ordinateur central envoie la programmation vers l'ordinateur de cuve. Ce transfert se fait automatiquement en raison du système de communication. Il prend environ 30 secondes au contrôleur à entrer le programme et tous les paramètres d'opération. On peut faire cela, car lorsque le contrôleur est en opération, le contrôleur envoie toutes ses données à l'ordinateur central à toutes les 36 secondes. Quand le contrôleur va repartir, il va le faire avec la dernière image en mémoire dans l'ordinateur central.

Une situation par laquelle durant un siphonnage, le contrôleur tombe en panne, n'est pas une situation dangereuse.

Un exemple de causes possibles sur les ordinateurs est par exemple: une personne fait la maintenance préventive, on essaie de repartir l'ordinateur après et il ne veut plus partir. L'alimentation du CPU était sautée. Une période de 24 heures a été nécessaire pour déterminer la cause du problème.

Les problèmes majeurs que l'on retrouve, sont des problèmes d'alimentation électrique. S'il n'y a pas d'alimentation, on appelle la compagnie Digital pour qu'il vienne voir ça. Il y a 7 ou 8 sources d'alimentation pour l'ordinateur central. S'il y a de l'alimentation partout, on appelle Digital.

Pour un contrôleur, si on change le contrôleur et qu'il ne repart pas, on va vérifier l'alimentation électrique. On va donc appeler les gars de l'électronique. Sur un contrôleur, il y a une seule alimentation. Un contrôleur est une boîte fermée. Il y a un CPU, une mémoire, une carte de communication, une carte I/O.

Entrevue avec V. Potocnik et Marc-Yvan Côté le jeudi 25 juillet 1991.

Commentaires au sujet du système expert

On voudrait pouvoir faire un journal des événements qui permettrait de pouvoir savoir le résultat de la dernière consultation. C'est-à-dire que lors du départ de la consultation, le système expert doit pouvoir indiquer les résultats de la dernière consultation et s'en servir pour faire un chaînage différent. Je dois enlever les informations qui sont affichées à l'écran. Par exemple, on ne doit pas afficher à l'écran que l'ordinateur va vérifier les mesures des quantités d'alumine. Par contre, le système expert doit pouvoir afficher la date de la prise de données ou l'âge des mesures.

Différents sujets ont été abordés durant cette entrevue. L'analyse du système expert en fonctionnement a permis de vérifier les connaissances acquises. Voici les remarques faites:

- L'expression faire le vide des trémies est peu connue. On devra expliquer ce terme ou carrément le changer. Ce vocabulaire a été acquis lors de l'entrevue avec M. René Belley.
- On aimerait que le système expert puisse se souvenir de la consultation précédente. Par exemple, suivons la logique de l'inspection visuelle (arbre de décisions D"). On voudrait que la première consultation donne comme conseil qu'il y a un problème mécanique dans l'alimentateur et que l'on doit injecter de l'air. Par la suite, un peu plus tard dans la journée, l'opérateur effectue une deuxième consultation qui résulterait encore une fois sur un problème mécanique de l'alimentateur et qui donnerait comme conseil, non pas d'injecter de l'air, mais de faire venir SANIVAN pour vider la trémie. Le système expert se serait souvenu du dernier conseil donné et évoluerait selon la situation.
- On veut que le système expert remercie les utilisateurs d'avoir utiliser ses services et qu'il indique que la consultation est terminée.
- On demande d'utiliser le français standard plutôt que les termes des opérateurs.
- On m'a indiqué que l'écart-type jugé suffisant pour qualifier si les 4 échantillons d'alumine d'un alimentateur sont constants ou non-constants, est 0,2 kilogrammes.
- On veut que le système expert extrapole les questions et prévoit une liste de vérifications à faire sur la cuve. Ceci éviterait à l'opérateur de se rendre plusieurs fois à la cuve pour permettre l'inférence du système expert.

- On m'a indiqué qu'une valve solénoïde ne fonctionnant pas bien fait du bruit. Ceci devrait être ajouté à la connaissance du système expert.

Résumé de l'entrevue

Vérification des connaissances du prototype de système expert

On fait une inspection visuelle et il y a un alimentateur de faible. Il n'y a rien à faire si ça fait longtemps qu'il est comme ça. Par exemple, à 10 heures, on a une alimentation normale sur l'alimentateur # 1 et à 13 heures, c'est faible alors la suggestion du système expert est de demander à l'opérateur d'aller prendre des valeurs de la quantité d'alumine qui tombe de l'alimentateur. Lors de l'inspection visuelle, l'opérateur peut savoir s'il y a une faible alimentation en comptant les secondes durant lesquelles l'alimentateur déverse son alumine.

M. Côté fait remarquer que la première action que les opérateurs posent lorsqu'ils s'aperçoivent qu'il y a une faible alimentation est de frapper sur l'alimentateur. L'alimentateur peut alors revenir à son état de fonctionnement normal ou ne pas fonctionner. Dans ce dernier cas, ils peuvent fermer l'alimentateur en défaut. Le système expert doit faire une distinction entre chaque alimentateur. Mais la logique est la même quelque soit l'alimentateur obstrué.

On doit vérifier l'expression "faire le vide" et "aspirer les saletés". On doit dire s'il s'agit de vider l'alimentateur ou la trémie ou de faire venir SANIVAN.

On voudrait que le système expert se souvienne des conseils donnés. Par exemple, un problème survient durant une période de travail. L'opérateur oublie de l'écrire dans son cahier et de le dire à l'opérateur le suivant. On voudrait que le système expert puisse avertir le nouvel opérateur que le problème existe. Ainsi, la première chose que le système expert pourrait afficher lors de la consultation est que le casseur a bloqué, il y a quatre heures. Pour savoir sur combien de sessions il devrait retenir, ça reste à évaluer. Vérifier auprès de Comdale s'il peut le faire. Si c'est complexe à faire, on va le mettre dans une priorité plus basse que les autres travaux. C'est une qualité du logiciel qui serait la bienvenue.

On demande de remplacer le terme "partie mécanique" par "mécaniciens". Fait à remarquer, les mécaniciens s'ils ne trouvent pas le problème peuvent ensuite demander des électriciens.

On voudrait que le système expert puisse indiquer que la consultation est terminée par "au revoir" ou par toute autre formule de salutation. De plus, il faudra demander à René Belley ce que les mécaniciens doivent vérifier sur les valves et aussi ce qu'ils doivent faire après si le problème n'est pas là. Vinko Potocnik suppose qu'ils ont, entre-temps, arrêté les casseurs. S'il n'a pas encore arrêté ses casseurs, il doit le faire. Il va fermer le casseur/alimentateur avec un interrupteur placé à côté du contrôleur et automatiquement l'ordinateur le sait. Il veut que les procédures d'opération soient rattachées au système expert.

Par exemple:

- 1- Appeler les mécaniciens, tél.: xxxx
- 2- Fermer l'alimentateur en défaut.
- 3- Au revoir

Autre exemple:

- 1- Aller chercher le panier
- 2- Actionner le casseur quatre fois dans le panier
- 3- Peser le contenu
- 4- Inscrire les résultats dans l'ordinateur central.

Bref, il s'agit de décrire la suite d'actions à prendre sans qu'ils aient le besoin de chercher cette information.

On demande que le système expert puisse regrouper certaines actions à faire. Par exemple, il y a un problème et dix causes peuvent être soupçonnées. Il serait pratique de pouvoir vérifier en même temps une dizaine de paramètres et de donner les résultats au système expert. Il y a sûrement parmi les connaissances acquises des cas où on peut l'appliquer. Dans une liste, on peut demander de vérifier:

- Bruit provenant des solénoïdes
- Vérifier alimentation
- etc...

Dans le cas des valeurs de quantités d'alumine collectées, un écart-type inférieur à 0,2 kg indique que les valeurs sont constantes pour un alimentateur. S'il est supérieur à 0,2, les valeurs sont considérées comme étant non-constantes. Le système expert doit donc spécifier les 4 valeurs pour chaque alimentateur.

Acquisition des connaissances concernant les problèmes d'effets anodiques

SLO permis

Les prochaines connaissances concernent l'extinction de l'effet anodique une fois que celui-ci s'est manifesté.

L'effet anodique arrive et le patron de SLO automatique démarre. Si le SLO est un succès, la situation revient à la normale. Si le SLO est échec, l'ordinateur donne un mouvement descendant (-5mm), une alarme sonore se fait entendre et un message s'imprime pour indiquer: "Impossible de tuer effet anodique, à vous de jouer".

Si la cuve est court-circuit, il n'y a pas d'autres mouvements donnés au plan anodique à la fin du SLO. Si le voltage de cuve est supérieur à la cible + 1Volt alors un mouvement est fait (-5 mm). Après l'opérateur s'en mêle. Il démarre un programme manuel (787) qui fait un autre patron de SLO. C'est un patron semblable au premier, mais il n'a pas de mouvement descendant au début et à la fin du SLO. Le 787 fait uniquement une série de pompage.

Un effet anodique survient, l'ordinateur vérifie le niveau du plan anodique. S'il est haut, alors il va faire une baisse du plan anodique soit 90 % du niveau calculé (1 → baisse de 18 mm)

Le patron descend de 3 mm, puis effectue le pompage et après, descend de -5 mm ou pas selon le voltage de la cuve. Donc, à la fin du SLO, le niveau du plan anodique sera soit de -3 mm ou -8 mm.

Quand c'est court-circuit ($v < 3,5 \text{ V}$), l'opérateur monte lui-même le plan anodique par coup de 2 ou 3 mm (prog. 777). L'effet de la montée sur le voltage est rapide (36 secondes). Après les coups, il y a retour à un voltage normal ou à un effet anodique. La montée du plan se fera tant qu'on aura un court-circuit avec la cuve.

Si le voltage est normal, alors c'est fini.

Si l'effet anodique revient, alors le démarrage du 2^{ième} s'effectue. L'ordinateur devrait rabaisser automatiquement le plan anodique au niveau -8mm (après le premier échec) et c'est l'opérateur qui démarre le 787. Après le 2^{ième} SLO, il y a succès ou échec. Pour un échec, la cuve est soit en effet anodique stable ou en effet anodique instable.

Si c'est stable, l'opérateur doit vérifier le niveau du plan anodique par rapport au point de départ du 1^{ier} SLO. Ça donne une indication du type de mouvement à donner à la cuve. Si elle est à +10, il va faire attention en remontant son plan, à -15, le bain peut renverser. Ensuite, il vérifie le voltage. Si le voltage < 25 V, alors il passe le bois. Si le voltage > 25 V stable, il baisse le plan anodique par coup de 2 à 3 mm jusqu'à ce que le voltage < 25 V.

L'opérateur peut avoir de la difficulté à passer le bois, mais habituellement, il réussit à le passer. En passant le bois, il y a un coup fort dans le voltage et la cuve devient court-circuit pour un moment et ensuite elle reprend un voltage normal ou revient à effet anodique. Un voltage normal est un voltage inférieur à la cible + 1V. Ils peuvent passer plusieurs bois avant d'avoir un voltage normal.

Après 4 bois, si le voltage est entre 15 et 20 volts, on fait une sortie haut voltage. L'opérateur est au PEP. Il descend le plan anodique par coup décroissant de 5 mm à 1 mm en vérifiant le niveau du bain dans la cuve pour ne pas avoir de déversement et de ne pas tomber court-circuit quand il descend le plan anodique. Il regarde le voltage pour savoir s'il est instable. Il descend jusqu'à 6 V, car même à 6V stable, la cuve peut devenir à court-circuit. Si elle descend rapidement, ils vont donner des coups en montant. Aussitôt que c'est instable, il arrête la descente et peut remonter le plan et va la laisser aller. Ils n'y touchent plus.

Si on a 35 V stable, il commence à descendre son plan anodique. À l'étape d'avant, s'il est à 30 V, et à + 15 mm, il va descendre son plan avant de passer son bois.

Dès le départ, l'opérateur vérifie l'alimentation dans la cuve dans les 6 minutes d'exécution du 1^{ier} SLO. Il vérifie les alimentateurs et les trous de casseurs. Dans une véritable usine, ils ne font pas de vérifications. Ils sont occupés ailleurs. Pour l'inspection des trous, ils voient le résultat automatiquement. Quand l'ordinateur déclare que l'effet anodique est éteint [voltage > 3,5V & < cible + 1V], le contrôle de résistance revient automatiquement.

Pour l'effet anodique instable, on doit remonter le plan anodique pour avoir une situation stable. Par la suite, c'est la même situation que pour un effet anodique stable.

Ce sont les situations où le SLO est permis.

SLO pas permis

Le SLO n'est pas permis si:

- 1- L'opérateur l'a enlevé.
- 2- Le SLO a été enlevé pour éviter de casser l'anode de coin, car il y a trop de gelée dans la cuve.
- 3- Le SLO est permis, mais en raison d'opération sur la cuve, il est exclu (siphonnage, changement d'anode). Cet état va s'annuler lors du retour à la normale. Dans un changement d'anodes, le SLO est permis sur la cuve M, mais l'anode sur laquelle on fait le changement ne bouge pas. Sur la cuve F, le SLO n'est pas permis.
- 4- Après la remise de charge. Il y avait une charge à terre et on la remonte (20 à 30 minutes). Pendant 20 à 30 minutes, le SLO n'est pas permis, la cuve est à l'état AL (alimente seulement). Il n'y a pas de contrôle de résistance. Si un SLO arrive, l'opérateur doit démarrer le 787.

Ils ne sont pas sûrs que l'état SLO pas permis est affiché ou inscrit quelque part, ni même qu'il y ait une alarme.

1- Siphonnage

- a) Arrêter le siphonnage.
- b) Tomber à l'effet anodique automatiquement.
- c) Réajuster le niveau du bain.
- d) Essayer de ramener la cuve dans un état de lumière normale (≈ 15 V), tout en regardant le niveau du bain.
- e) Actionner le SLO (787).
- f) Vérifier les casseurs/alimentateurs.
- g) Retourner à la séquence normale de l'effet anodique. Retour à la notion de succès et d'échec après le 1^{ier} SLO.

2- Changement d'anodes

- a) Arrêter le changement d'anodes. Remettre les opérations dans un état normal et sécuritaire. Vérifier la procédure normale à faire.
- b) Sur M, rien à faire, il sort de la cuve.
- c) Sur la cuve F, il sort et actionne le SLO et on doit suivre la procédure normale.

3- Remise en charge

- a) L'opérateur doit s'occuper de sa cuve. On doit vérifier avec Renaud Santerre ou Yvon Paradis des actions à prendre.

Pendant un intervalle de 20 à 25 minutes où il y a des choses spéciales

- 1) Partir le 787 (SLO). L'opérateur décide de le partir au moment jugé opportun.

La pratique n'est pas claire et l'automatisme est à repenser.

Deuxième effet anodique en moins de 12 heures.

Cette situation reste à clarifier.

Entrevue avec V. Potocnik et Marc-Yvan Côté le jeudi 1 août 1991.

Vérifications des connaissances acquises sur l'effet anodique

M. Marc-Yvan côté souhaite que le système puisse se souvenir des consultations précédentes comme le ferait un véritable expert. Il espère que la consultation soit suffisamment rapide et agréable pour que quelqu'un puisse utiliser ce système expert et en tirer de quoi. Il y a certaines questions qui devraient avoir des coefficients de certitude à son avis, mais il ne sait pas où on pourrait les appliquer.

Durant cette entrevue, une vérification est faite sur l'acquisition des connaissances concernant les effets anodiques. Les commentaires, qui suivront, ont été faits à l'aide des arbres de décisions.

On doit spécifier dans les arbres de décisions que l'effet anodique survient. On doit aussi spécifier les états. Par exemple, on a l'état effet anodique automatique et l'état normal. Ce dernier état compose 99% des cas d'effets anodiques.

L'état effet anodique automatique et manuel (EAA & EAM) provient d'une décision de l'opérateur. En effet, celui-ci met la cuve en état d'attente d'un effet anodique. La différence entre les deux est que lorsque l'effet anodique arrive, l'état effet anodique automatique démarre automatiquement le SLO comme sur l'état normal. Sur l'état effet anodique manuel, c'est l'opérateur qui décide quand le SLO va partir. C'est, dans ce dernier cas, SLO pas permis.

Il suggère que le lien à D soit différent selon que l'on est ou pas sous l'effet anodique. On devra vérifier plus tard si ce lien est possible. Le résultat soit succès ou échec du SLO est indiqué par une variable de la base de données. Le système expert devra attendre les résultats.

Pour le 2^{ième} SLO, la notion de succès et d'échec n'existe pas. Il n'y a pas de variable pour l'indiquer. On retrouvera que la cuve est passée de l'état lumière à l'état normal. On devra le déduire par un changement d'état. Le 2^{ième} SLO a une durée fixe d'environ 6 minutes. Le système expert pourrait donc attendre 6 minutes et vérifier l'état de la cuve. S'il y a encore une lumière, alors on considère le SLO comme échec (cuve M). Pour ce problème, il serait préférable de rencontrer Yvon Paradis (cuve M & F).



Pour évaluer la stabilité d'une cuve, les opérateurs regardent le PEP. De lecture en lecture, si le voltage ne varie pas plus d'un volt, c'est stable. Il propose d'installer le système expert près du PEP. Pour un effet anodique instable, on doit remonter le plan anodique jusqu'à 20 mm par coup de 5 mm → 2mm. Dans l'effet anodique stable, on doit vérifier le niveau de bain par rapport au tablier et aux anodes pour ne pas que ça renverse et pour ne pas sortir les anodes du bain. Dans l'effet anodique instable, pour savoir si les anodes sont au maximum, ça commence à faire des arcs électriques. Ils voient ça dans la cuve. C'est une lumière blanche. On devrait demander: "Est-ce que les anodes sont sorties du bain ? (une manière de le visualiser est la présence d'arcs électriques.)". Une question du côté stable pourrait ressembler à ceci: "Est-ce que le bain est au niveau du tablier.". Tous les mouvements du plan anodique sont faits du côté du PEP.

Si après avoir inséré un bois, la cuve est court-circuit, alors on attend pour vérifier si elle demeure dans cet état, puis on remonte le plan anodique tranquillement. Le cheminement par la suite est plutôt à l'essai et à l'erreur. Selon son "feeling", il va peut-être passé son bois ou faire immédiatement une sortie haut voltage. S'il a eu de la difficulté à la stabiliser, il va être plus hésitant à insérer un autre bois qui pourrait la déstabiliser.

La décision d'insérer ou pas un autre bois est sujet à interprétation du cas. Par exemple, peut-être que l'opérateur a mal inséré le bois. À ce moment, il peut décider de se réessayer.

Pour la sortie haut voltage, s'ils ont eu de la difficulté à avoir un voltage stable, ils vont commencer la descente de façon lente.

Plus la cuve a été facile à stabiliser haut voltage, plus ils peuvent se permettre une descente rapide. Plus la cuve a été difficile à stabiliser, plus ils vont faire des petits mouvements.

On regarde ensuite la tendance au voltage à descendre. Quand la descente s'accélère (changement dans le taux de descente), ils vont être prudents sur les changements. Supposons qu'on est à 10 volts et qu'on descend rapidement, ils n'attendent pas 6 V pour réagir. À 8 V, ils vont commencer à remonter. Si ça descend vite, mais que ça ne lui fait pas peur, je ne sais pas comment traduire ça en chiffres, ils vont attendre plus bas avant de remonter. C'est toujours pour un voltage stable. L'analyse de la pente est informelle. Cette pente n'est pas encore quantifiée. Si instable avec une pente relativement nulle () → arrête la descente du plan anodique. Si instable avec une pente non-nulle () , on remonte le plan anodique.

Il y a des états qui ne permettent pas le SLO et d'autres qui le permettent, mais que l'opérateur peut empêcher. Il y a une variable qui permet de dire si le SLO est permis ou pas sur chaque état. Dans la programmation, il y a deux variables: une qui indique "permis par l'opérateur" et l'autre "permis par l'état". On doit avoir l'état normal, l'état effet anodique manuel, l'état manuel de la cuve. Le siphonnage, l'effet anodique manuel et la remise en charge interdisent le SLO de par leur état. Pour le changement d'anodes, ça varie selon la cuve soit M ou F.

Si l'opérateur a enlevé le SLO alors que la cuve est à l'état normal, il va essayer de l'éteindre manuellement. S'il a enlevé le SLO, il avait une raison. Selon cette raison, il peut essayer de la remettre en marche avec un 787 ou qu'il ne peut le remettre en marche et là il se débrouille manuellement. Si la cuve est à l'état manuel, le SLO ne marchera pas. Il doit essayer de l'éteindre manuellement.

Dans l'état effet anodique manuel, les causes sont:

- 1) que la cuve a de la difficulté à conserver son niveau de bain (bain trop bas).
- 2) qu'on laisse chauffer l'effet anodique pour que le bain puisse fondre et ainsi faire remonter le niveau de bain.

La durée de l'attente varie si l'effet anodique est fort (30V) ou si l'attente est courte si l'effet anodique est faible (15V).

Dans le cas du siphonnage, dans la réalité les opérateurs ne demanderont jamais deux fois un 787. Ils vont en commander un et ensuite passer le bois.

Le premier SLO automatique démarre immédiatement lorsque l'effet anodique arrive et dure 6 minutes. Entre le moment où l'effet anodique est déclaré et que les opérateurs arrêtent le siphonnage et serrent leurs appareils, il peut se passer 6 minutes facilement. Le SLO qu'ils vont démarrer, correspond donc dans le temps au 2^{ème} SLO.

Remise en charge

C'est un peu comme un effet anodique manuel. La cuve est froide et il va la laisser chauffer si ces trous sont bloqués, il va la laisser encore plus longtemps. En ce moment, sur A-310, il n'y a aucune condition qui permettrait de savoir quand déclencher un effet anodique manuel. Il va en déclencher un lorsqu'il voit qu'il va se produire un effet anodique de toutes façons. Par exemple,

les trous bloquent un après l'autre. Il décide de contrôler la durée de l'effet anodique en le démarrant pour augmenter son niveau de bain.

Un effet anodique crée un mouvement dans la cuve. La cuve vient chaude de même que le bain. La poussière a plus de facilité à voyager dans la cuve et elle peut sortir sur le bord des anodes. Ça peut en produire autant que s'en brûle.

Avant de recommander ça, s'ils voient que la température descend rapidement, il doit donner du voltage pour maintenir sa température. Si le voltage a été monté au maximum (présence d'arcs). En montant le voltage, le niveau du bain descend, car les anodes ont monté et que malgré ça le voltage continue de descendre, alors le problème est soit réglé, car le niveau du bain augmente ou soit niveau du bain demeure bas et les casseurs bloquent alors on se dirige vers un effet anodique. Dans ce cas, on va choisir un effet anodique manuel. Ce sont des cas qui arrivent peu souvent.

Quand l'ACD < 4,0 cm (3,2 à 3,5 cm) aux trous de casseurs, l'alumine va bouillonner beaucoup. L'alumine va ressortir. Ceci occasionne un faible ACD. C'est la résistance qui augmente et ceci implique que la concentration d'alumine dans le bain diminue, donc un effet anodique pourrait apparaître à court terme.

La couleur de la flamme, c'est moins sûr. (violet → bain pauvre) (jaune → température chaude) C'est très difficile à juger. M Côté avoue que c'est une donnée peu utilisée sur A-310. Ce paramètre est utilisé plus en usine, car là-bas, l'alimentation est en coup (une grosse quantité d'alumine à tous les `x` heures) plutôt qu'en continue comme le fait A-310.

M. Côté regarde la tendance de la résistance à monter pour savoir si un effet anodique approche. Il ne sait pas exactement la limite. Par exemple, une montée depuis longtemps de la courbe de résistance indique qu'un effet anodique approche. Une montée courte claire et évidente indique aussi qu'un effet anodique approche. Il y a aussi toutes les combinaisons possibles entre ces deux extrêmes.

Il réussit à prédire huit ou neuf effets anodiques sur dix. Quand la pente de la résistance devient supérieure à 4000 millionième de micro-ohm, alors un effet anodique devrait arriver si l'état de la cuve reste le même. On peut avoir une variation dans les doseurs, dans la température et l'effet anodique n'arrivera peut-être pas.

C'est une pente pondérée. Il utilise la valeur actuelle et la précédente. À toutes les 110 secondes, il y a une valeur de pente et d'accélération. Si la pente = 4000 et l'accélération = 50 et que dans un autre cas que la pente = 4000 et que l'accélération = 200, la seule affirmation que l'on puisse dire est que l'effet anodique arrivera plus rapidement dans le second cas que dans le premier. Si une cuve a une tendance à être pauvre, alors la courbe de résistance a tendance à monter et l'ordinateur lui donne des corrections.

Ils ne peuvent caractériser les courbes de résistance en fonction de la concentration d'alumine dans le bain. La question demeure: "Y a-t-il un logique qualitative ou pas des systèmes experts qu'on pourrait imposer sur l'observation dans le cas où rien ne bouge pendant assez longtemps ?".

Suivre l'évolution des courbes selon des changements des paramètres (température, boue en présence). On ne sait pas grand chose là-dessus. Une analyse de données est possible, mais il reste à savoir si on va réussir, à partir de la tendance de la courbe de résistance, à tirer des conclusions sur l'état de la cuve et de ce que l'on devrait faire par la suite sur le régime. C'est tout à voir et à développer.

La notion de pente a été développée pour des raisons de contrôle de l'instabilité. On voulait être plus sûr de ce que les observations nous donnaient. On voulait avoir des critères moins sensibles à l'instabilité. La pondération est un moyen pour lisser nos courbes et d'enlever cette instabilité. Ceci a permis de déterminer le nombre d'observations qui s'acheminaient à l'effet anodique.

Les montées rapides de résistance arrivent habituellement sur des cuves plus froides. Sur une cuve plus chaude, il y a de l'instabilité, mais ils ne savent pas pourquoi. Ces montées se produisent donc sur les deux, mais pas de la même façon.

On veut faire une observation en continue. On met habituellement dans une cuve 200kg/heure. Pour l'observation en continue, on règle le régime à 150 kg/heure et on vérifie que la résistance monte de tant de $\mu\Omega$. À ce moment, la cuve est considérée comme étant du côté pauvre et le régime est modifié à 250 kg/heure. Il met la suralimentation pour une durée fixe (1heure). Si on a une longue observation, mais qu'on a une cuve chaude, on aura une courbe caractéristique. À la fin de l'observation, le régime sera baissé en raison de la longueur de l'observation, mais en réalité on devrait le garder, car la cuve est chaude.

La figure 1 représente une situation réelle dans une cuve d'électrolyse et sert à comprendre l'utilité des systèmes experts dans le contrôle des cuves d'électrolyse.

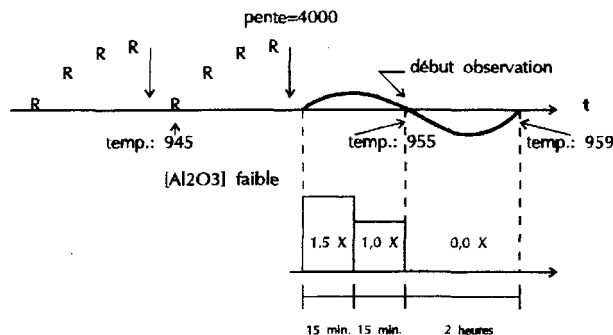


figure 1: Représentation schématique d'une courbe d'observation.

Les R représentent la courbe de résistance de la cuve M du CRDA en fonction du temps. Par deux fois avant l'observation, le système automatique a été obligé de baisser les anodes pour diminuer la résistance. Un opérateur de bonne expérience suggérerait que la cuve est faible en alumine. La valeur de la pente de la résistance atteint la valeur des quatres milles, ce qui indique qu'une effet anodique approche et donc que la cuve est faible en alumine.

La cuve entre ensuite dans l'état pré-observation où le régime est diminué. Une valeur de température est mesurée et celle-ci a augmenté de 10 degrés. L'observation débute et dure 2 heures. Le système automatique établit selon la durée de l'observation que la cuve est riche en alumine et diminue le régime. À la fin de l'observation, la température a continué à s'élever.

Résultat: Le système automatique diminue le régime alors que la cuve est faible en alumine. On devrait plutôt garder le même régime d'alimentation.

On veut que le système expert caractérise l'état de la cuve et indique si on doit changer le régime ou pas selon la condition de la cuve. Dans le cas présenté, le système expert devrait analyser l'allure de la courbe de résistance et reconnaître que c'est caractéristique d'une cuve chaude et conseiller de ne pas changer le régime d'alimentation, car la longueur de l'observation est due davantage à la température chaude de la cuve qu'à la durée de l'observation.

Pour formaliser ces courbes, Marc-Yvan Côté y travaille tranquillement. Il doit finir de tracer ces courbes, les valider et après on pourra mettre ça dans un système expert. Ils sont à l'étape de

recueil de données (paramètres: température aux 10 minutes, échantillon de bain aux 10 minutes et résistance aux 3,6 minutes, pas la boue, car trop qualitatif).

**Entrevue du 24 septembre 1991 avec M Marc-Yvan Côté, M Yvon Paradis et
M Vinko Potocnik**

But: Valider les connaissances

La première remarque concerne la partie A sur la durée d'alimentation des trémies. La durée d'alimentation des trémies n'est pas vérifiée ou mesurée. On ne la connaît pas. Ce ne devrait donc pas être un point de départ d'interrogation du système expert. Cet aspect pourrait être utilisé lors de l'installation de sondes dans les trémies. Une vérification est faite au début de chaque quart de travail. Si les trémies sont pleines, l'opérateur est assuré d'avoir de l'alumine pour les 12 prochaines heures. On laisse cette logique dans les arbres de décisions, car on ne connaît pas les changements qui pourront survenir dans l'avenir dans les cuves. Par contre, dans l'immédiat, ce ne sera pas inclus dans le système expert.

On doit spécifier dans A1, "Actionnez l'aéroglossière par le PEP.". Aussi, si le contrôleur ne fonctionne pas, on ne peut actionner l'aéroglossière par le PEP. Si le PEP ne marche pas, le problème peut être le contrôleur. C'est peut-être le fil du PEP qui est coupé. La première instruction devrait être: " Actionnez l'aéroglossière de la cuve par le PEP.". Résultat: Le PEP fonctionne ou le PEP ne fonctionne pas.

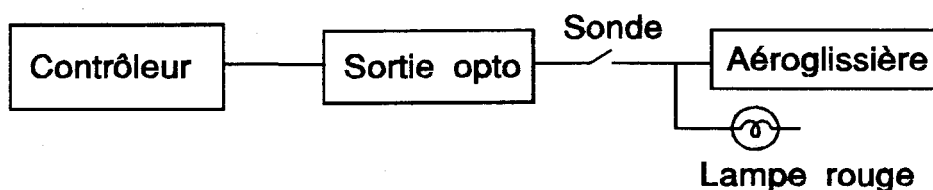
Si le PEP ne fonctionne pas, on doit demander si le contrôleur fonctionne (programme entrée manuelle # 457). La réponse sera "Aucune mise à jour depuis *tant* de temps" si le contrôleur de cuve est arrêté.

S'il n'est pas à jour, le contrôleur ne fonctionne pas. On doit appeler les électroniciens dans les deux cas. Si le contrôleur fonctionne, alors c'est le PEP qui fait défaut.

On doit éliminer la branche "Le contrôle fonctionne-t-il" dans l'arbre A1.

Si on se branche avec J1, un lien doit permettre de revenir à A1 par la suite. Ainsi, le but recherché est de déterminer pourquoi l'aéroglossière ne marche pas. On a trouvé que le PEP ou le contrôleur ne marchait pas, mais le problème de l'aéroglossière n'est toujours pas réglé. On doit continuer l'inférence pour s'en assurer.

La lumière rouge sur le mur est allumée tant que l'ordinateur tient le contact avec l'aéroglossière de la cuve et indique que l'aéroglossière a reçu le signal du contrôleur.



La sonde vient ouvrir le circuit lorsque la trémie sera pleine. Si le contrôleur fonctionne et que la lumière rouge est éteinte, ceci indique trois choses:

- Sortie opto défectueuse.
- Sonde défectueuse.
- Ampoule défectueuse.

Si le contrôleur fonctionne, qu'il y a de la pression d'air et que la lampe rouge allumée. C'est la valve solénoïde qui fait défaut. Par contre, si elle est éteinte, vérifiez la sonde et la sortie opto.

La définition d'un trou bloqué est que le casseur ne peut casser la croûte; elle est fermée. S'il y a de l'alumine qui entre, ce n'est pas bloqué. Quand ils font leur inspection au début de leur quart de travail, ils doivent vérifier les casseurs et dire s'il y a présence d'une flamme ouverte. Les opérateurs ne vérifient pas l'accessibilité au bain à l'aide d'une barre de fer. Si le bout du casseur ne ressort pas avec une couleur rouge, l'opérateur devrait vérifier la tendance de la résistance de la cuve (tendance à monter). On devrait actionner les casseurs à plusieurs reprises pour débloquer le trou.

On devrait vérifier s'il y a un bouillonnement. Un bouillonnement se produit lorsqu'une fois le casseur passé, les gaz s'échappent par le trou et qui fait apparaître l'alumine comme très fluide. C'est une observation faite durant la tournée d'inspection normale. S'il y a un bouillonnement ça indique que ça passe et que le trou n'est pas bloqué (situation normale). S'il n'y a pas de bouillonnement, on doit le considérer comme étant bloqué et se brancher à ce réseau.

Éventuellement, l'information que le casseur ressort sans la couleur rouge pourrait être entrée dans l'ordinateur qui ferait un suivi spécial. Pour le moment, ceci devrait être un message à l'opérateur de suivre la tendance de la cuve. Du côté du niveau du bain, s'il est plus de 16.0 cm, c'est normal. Si le niveau du bain est normal, le problème est dans une autre catégorie. S'il est bas, on ajoute du bain et vérifie la température. Si elle est basse, on fait un traitement de voltage.

Pour faire un traitement de voltage, on utilise un programme manuel. Si elle est très basse, on fait un traitement de voltage plus élevé. Si le niveau du bain est très bas (≤ 13.0 cm), alors donnez le traitement de voltage le plus haut possible. Si la température du bain est normale, on ne donne pas de traitement de voltage.

Pour vérifier si la force du casseur est suffisante, on doit regarder la pression d'air. Si elle est suffisante, il y a un problème dans la force du casseur. Dans le cas contraire, il n'y a aucune action à prendre.

Avec le patron actuel de changement d'anodes, il arrive rarement que des trous bloqués surviennent en raison d'un nombre élevé de changement d'anodes autour de ce casseur. On devrait vérifier s'il y a eu un changement d'anodes à proximité du casseur. Sinon, c'est un autre problème. Éventuellement, on pourra argumenter sur la forme du casseur.

Si on a le même problème d'obstruction dans le doseur dans les trois derniers jours, on doit injecter de l'air et penser à faire venir Sanivan pour vider les trémies. À la deuxième fois, on devrait s'interroger sur la granulométrie de l'alumine.

- Si % de $20\text{ }\mu\text{m}$ ≤ 1 % alors quantité normale
- Si % de $20\text{ }\mu\text{m}$ > 1 % alors attendre

Si l'alumine tombe en faible quantité, l'action à prendre est de frapper sur le doseur. Ils ne prennent pas des échantillons d'alumine en dehors de la séquence prévue.

Cette expertise devrait être un déclencheur indépendant (comme inspection visuelle). C'est-à-dire qu'après avoir collecté selon l'horaire les quatre échantillons, ils devraient consulter le système expert à ce sujet qui analyserait les données.

Si on frappe le doseur et que ça débloquent pas et que les mécaniciens sont venus et que ça ne débloquent toujours pas, on doit fermer le doseur et appelez Sanivan.

Aussi, on doit pouvoir spécifier chaque alimentateur de façon spécifique. Les quantités déversées varient en fonction de l'alimentateur.

Les actions à prendre doivent être écrites dans l'arbre de décisions B. Le programme trou B démarré à partir du PEP bloque l'alimentation. Le casseur continue d'être actionné et l'alumine n'est pas en compensée sur les autres alimentateurs. Si on ferme un casseur au tableau de

contrôle, le casseur et l'alimentation en alumine ne sont plus actifs, mais il y a une compensation de l'alumine sur les autres alimentateurs.

Dans l'alimentation normale, l'alimentation doit durer 12 secondes. C'est un truc pour la vérifier. Si la trémie est vide, on doit la remplir et donc démarrer l'aéroglossière de la cuve sans vérifier d'autres paramètres.

On doit frapper le doseur. Si l'alumine ne tombe pas, on doit vérifier les valves solénoïdes au bout de la cuve et appelez un mécanicien et souffler de l'air dedans. Si ça arrive souvent, il peut y avoir un morceau qui se déplace et qui obstrue le trou du doseur.

Validation des connaissances avec René Belley et Vinko Potocnik
le 25 septembre 1991.

Le but de cette rencontre est de faire une démonstration du système expert à M. René Belley et de valider les connaissances des arbres de décisions A,B,C,D,H,I & J.

Dans l'arbre de décision J, on doit brancher la valise aussitôt que le nouveau contrôleur ne fonctionne pas. Si la valise ne marche pas, on doit alimenter manuellement à partir des trappes des trémies et appeler les électriciens. La valise fonctionne si les casseurs sont actionnés. Cette intervention est obligatoire après l'installation de la valise.

Dans l'arbre de décision B, si la pression d'air est trop basse, le casseur n'aura pas assez de force pour casser la croûte. La pression normale est de 90 lbs/po². Pour vérifier cette pression, on fait une lecture sur des manomètres qui sont situés à deux endroits: près de la salle de contrôle et au bout contrôle de la cuve. Une pression d'air suffisante est nécessaire et doit être supérieure à 70 lbs/po². Si la pression est insuffisante, l'opérateur doit vérifier l'état des compresseurs. Il doit démarrer le deuxième compresseur. S'il ne réussit pas, il doit appeler un mécanicien.

L'opérateur ne peut remettre en cause le patron de changement d'anodes. Il peut arriver qu'un changement d'anodes refroidit un peu trop la périphérie du casseur lors d'un changement d'anodes. Si le trou est bloqué suite à cet événement, on doit arrêter l'alimentation en alumine, dégager le trou, enlever le surplus d'alumine et de fermer le casseur au tableau de contrôle. On choisit de fermer le casseur plutôt qu'un trou B, car la périphérie du casseur doit être assez froide et en continuant de casser la croûte, on refroidirait encore davantage la périphérie. La cuve peut très bien fonctionner avec trois alimentateurs.

Pour choisir entre trou B et fermeture du casseur. C'est une question de temps. Si on arrête un casseur sur trou B pendant 6 heures, on vient de perdre le quart de l'alimentation et favoriser un effet anodique. La durée normale d'un trou B est de deux heures. Pour cette période, la cuve sera capable de le supporter, mais si c'est pour une période plus longue, on doit compenser l'alumine sur les autres alimentateurs. Le trou B est un programme manuel disponible au PEP. On ferme un casseur de façon manuelle avec un interrupteur au tableau de contrôle près du contrôleur.

Si le ratio est élevé, la température est plus élevée et la croûte devient très dure. Par exemple, $T=950^{\circ}\text{C}$ et $R=1.10$ alors normal. Si $T=970^{\circ}\text{C}$ et $R=1.30$, la croûte sera dure, malgré la haute température. Un ratio élevé a une valeur supérieure à 1.15. C'est difficile de faire une démarcation. L'action à prendre est de placer le casseur sur trou B. Le casseur doit continuer à être actionné, mais l'alumine ne doit pas tomber pour ne pas faire un coussin. Ensuite, il doit vérifier l'état de l'alimentation en fluor, car tous les jours, une certaine quantité de fluor est déversée dans la cuve. Si la trémie est vide ou si le doseur est bloqué, il n'y a plus d'addition de fluor et le ratio se met à monter. Il doit commander au PEP une addition de fluor. S'il tombe du AlF_3 , il n'y a rien d'autre à faire. L'effet de l'ajout ne se fait pas instantanément. La quantité à ajouter est contrôlée par l'ordinateur. C'est assez critique pour ne pas laisser tout le monde jouer avec ce facteur. L'opérateur doit le signaler dans son rapport.

Dans le niveau du bain, des problèmes surviennent lorsque celui-ci est inférieur à 16.0 cm. À 17.0 cm, la situation est marginale. À 16.0 cm, le casseur ne descend pas assez bas pour venir tremper dans le bain et l'alumine vient s'accumuler. La cible de niveau de bain est entre 18.0 et 20.0 cm. Aussitôt que le niveau est à 18.0 cm, des additions s'effectuent pour ramener le niveau à 20.0 cm. On doit faire des additions de bain en petites quantités (10 kg) et fréquemment pour ne pas faire de dépôt dans le métal. On doit garder le bain froid à la hauteur de la croûte de bain et c'est là que le bain vient se dissoudre. Le bain arrive en particules d'un quart de pouces. Le bain arrive entre les anodes A1 et B1. C'est préférable d'indiquer, " en petites quantités ", pour que le bain froid reste en surface plutôt que d'écrire un poids. Un traitement de voltage permet de réchauffer la cuve et de dissoudre le bain froid. À une température de 950 et plus, on ne fait pas de traitement de voltage. Si la température est inférieure à moins de 950°C , on fait un traitement de voltage de 100 mV et si la température est inférieure à 945°C , le traitement de voltage est de 200 mV.

À 13.0 cm, on doit conseiller de donner le traitement de voltage le plus haut possible. Si on a des arcs, c'est trop tard, les anodes sont sorties du bain. Le plus haut possible indique que l'on garde une immersion suffisante des anodes.

Le changement d'une pointe de casseur demande un mécanicien et c'est un gros travail. L'opérateur va essayer de débloquer son trou, mais il va signaler dans son rapport que la pointe du casseur doit être changée. Le conseil à donner est que l'opérateur doit mettre la cuve sur 3 casseurs, c'est-à-dire fermer le casseur au tableau de contrôle.

Un ACD trop petit provoque de fortes éclaboussures de bain. Il n'y a plus d'espace entre la croûte et le bain. Si on a de fortes éclaboussures de bain, on agrandit l'ACD, un traitement de voltage de +50mV pour 4 à 6 heures.

Dans l'arbre de décisions M, l'opérateur ne vérifie pas s'il y a de l'alimentation électrique et n'appelle pas Digital. Aussi, on doit séparer le fait que le PEP ne fonctionne pas du fait que les casseurs ne sont plus actionnés. Les actions à prendre dans chacun des cas sont différentes.

Dans l'arbre de décisions A0, le changement du PEP s'effectue, selon René Belley, par Yvon Paradis, mais sa réparation se fait par un électronicien. Actuellement, c'est Yvon qui s'occupe de cette tâche. Si le contrôleur ne fonctionne pas, on doit le changer. Si le PEP ne fonctionne pas encore, c'est à ce moment qu'on a besoin d'un électronicien. On doit ensuite poser encore la question à savoir si le PEP ne fonctionne pas.

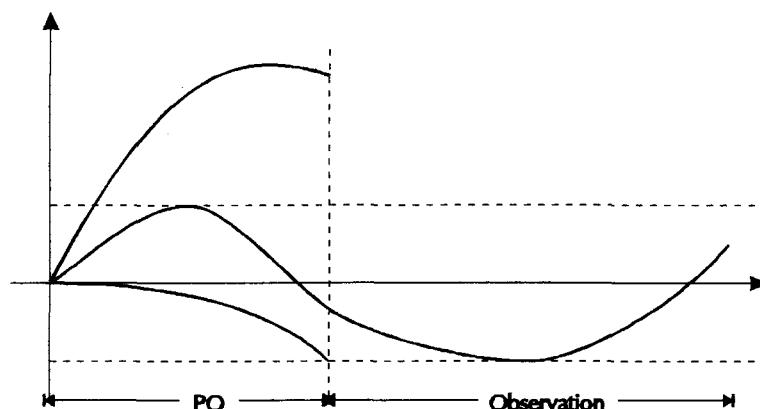
Dans l'arbre de décisions A1, la pression d'air qui alimente les aéroglissières, provient du surpresseur situé à l'épurateur. Il fonctionne à 20 pouces d'eau. L'air des compresseurs alimente l'épurateur et le surpresseur. Le compresseur peut fonctionner à 90 lbs/po², mais l'aéroglissière peut ne pas avoir d'air en raison du surpresseur qui fait défaut. Si le manomètre indique une absence d'air, l'opérateur doit actionner le deuxième compresseur.

Si le filtre ne fonctionne pas, on doit alimenter la cuve à partir d'alumine fraîche et ensuite appeler un mécanicien pour inspecter la fluidisation du filtre.

Entrevue du 8 octobre 1991 avec Marc-Yvan Côté et Yvon Paradis

Pré-observation: (PO)

La courbe de pré-observation et d'observation ressemble à ceci.



Dans la pré-observation, c'est l'état contrôle de résistance montant, c'est-à-dire seulement des mouvements d'anodes montant.

Critères pour avoir une PO

- L'heure actuelle est entre 6:00 et 18:00.
- Bruit > 10 (bas).
- Temps depuis dernière observation > 6 heures.
- Depuis 1½ heure sur normal.

Sur PO

- À $t_0 = 1.5 X$, pour 20 minutes puis $1.0X$, pour 15 minutes.
- $1.0 X$ = régime normal = 185 à 190 kg / heure → fréq. = 2 min./casseur.

Critères pour entrer sur Observation (OB)

- 5 cycles de 3.6 minutes consécutifs sans mouvement.
- Bruit ≤ 10.
- Durée PO < 1,5 heure sinon retour sur normal.

Observation:

- Remet les indices à zéro.

- Résistance minimum = moy. des Résistances des 5 derniers cycles de 3.6 minutes.
 - Pente pondérée = 0.
 - Accélération pondérée = 0.
 - Choix d'un écart de R à rechercher qui va indiquer la fin de l'OB.
 - Bruit > 7 $\Delta R = 0.40 \mu\Omega$
 - Bruit < 7 $\Delta R = 0.40 \mu\Omega$
- Autrefois, ces valeurs étaient différentes.
- Régime tombe à zéro, les casseurs commandés marchent à toutes les minutes.

Vérifications des critères:

1- de démarrage de sous-alimentation

- pente pondérée = $0.001750 \mu\Omega / 36 \text{ sec.}$
- alors démarrage du régime de base moins 75 kg.

2- Deux critères d'arrêt de l'observation

- pente pondérée = 3250
- $\Delta R = 0.4 \mu\Omega$ au 3.6 min.

Si on a une de ces 2 conditions:

alors le régime rapide démarre.

- a) 3 min. à 800 kg / heure
 - b) 3 min. à 3.0X
 - c) 60 min. à 1,5 X
- Si durée observation < 30 min., régime rapide débute à a)
 - Si durée observation > 30 min., régime rapide débute à b)
 - Durée maximale de l'observation est de 12 heures.

Bilan AI2O3

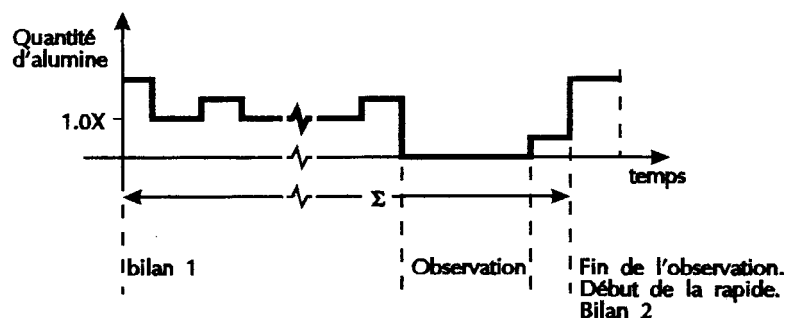
Le bilan utilise au minimum les dernières 18 heures et remonte jusqu'au dernier bilan. S'il a été fait il y a moins de 18 heures, aucun bilan ne sera calculé.

Restrictions:

- Le système n'acceptera pas de baisse de régime, si un effet anodique s'est produit depuis le dernier bilan.
- Si une observation dure plus d'une heure et qu'elle a ensuite été coupée, le système acceptera une baisse du régime, mais pas de montée.

- Si elle dure moins qu'une heure et qu'elle a été coupée, pas de bilan de calculer.

Calcul du bilan:



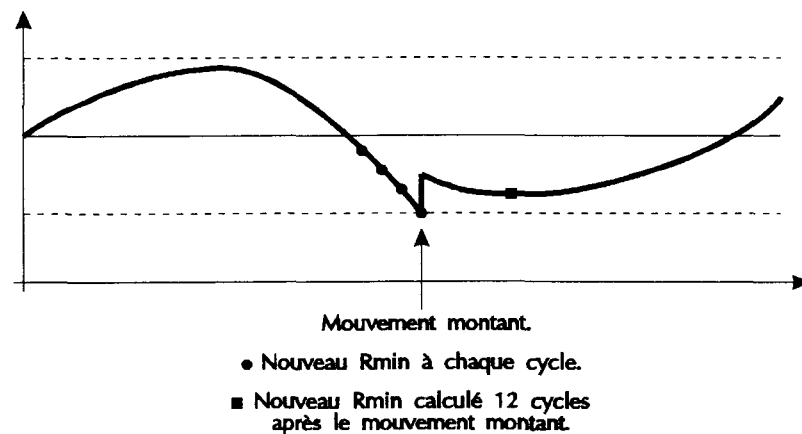
- Alimentation réelle = somme des quantités d'alumine mises dans la cuve. (B)
- Alimentation théorique = régime de base avant l'observation * temps bilan. (A)
- Si $B > A \rightarrow$ cuve pauvre en alumine \rightarrow monte le régime.
- Si $A > B \rightarrow$ cuve riche en alumine \rightarrow baisse le régime.
- À 50 minutes, il devrait y avoir un équilibre entre A & B.
- Si la durée > 45 minutes, cuve riche et régime trop haut.
- Si la durée < 45 minutes, cuve pauvre et régime trop bas

Correction du régime

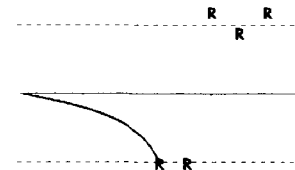
- Correction = $0.15 \text{ régime actuel} + 0.85 \text{ régime calculé (cuve pauvre)}$
- Correction = $0.55 \text{ régime actuel} + 0.45 \text{ régime calculé (cuve riche)}$
- La correction maximale permis du bilan d'alumine est de $\pm 4 \text{ kg/heure}$.

Remarques:

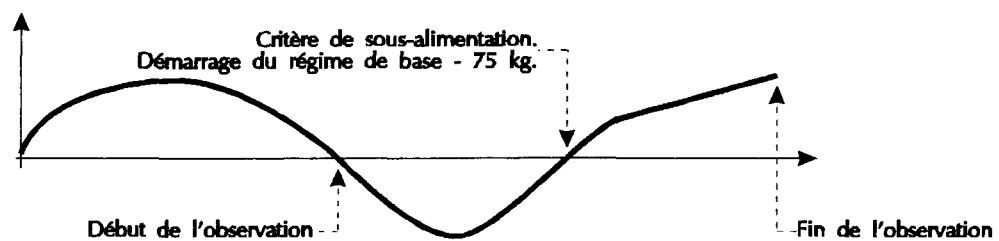
- Durant l'observation, ce qui est permis, c'est le contrôle de résistance en montant. La figure suivante l'explique. Lorsqu'un mouvement montant est fait, un nouveau Rmin est choisi 12 cycles de 36 secondes (7.2 min.) après ce mouvement. Le Rmin sert au critère de fin d'observation. C'est le $\Delta R = R - R_{\min}$.



- Dans une observation que l'on peut voir à la figure à droite, la cuve a court-circuité. Si la résistance sort de la limite inférieure, elle est considérée comme un court-circuit. Un mouvement des anodes vers le haut la ramène vers le centre, mais parfois à l'extérieure de la limite supérieure. La résistance est à l'extérieur pour deux cycles de 36 secondes. Un traitement de voltage est fait de + 75 mV jusqu'à ce que l'observation finisse.



- Critère de sous-alimentation:



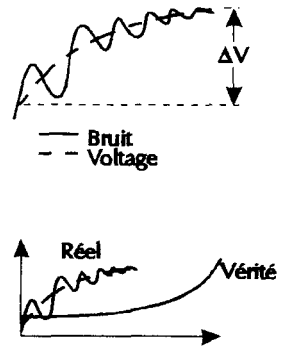
On espère que la pente diminue.

Si cette durée de sous-alimentation > 20 minutes, à la fin, durant la rapide, on ajoutera 50 kg au régime pour une durée de sous-alimentation-20 minutes. Le traitement de +50kg va se traduire par un régime de +75 kg parce qu'on est à 1.5 X pour le temps de la rapide et quand la rapide va être finie, on a revenir à + 50 kg.

Ce que l'observation pourrait indiquer de plus:

Premier cas

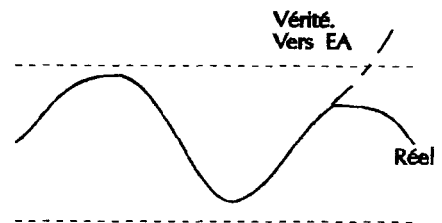
- On a une pente légère avec un bruit descendant (15 vers 5). Le voltage monte. La variation de voltage indique un changement de stabilité et non d'alimentation. En raison d'une hausse de voltage, l'observation a pu terminé plus tôt que prévu. (L'obs. pense que c'est sous-alim, alors que c'est suralim.) On devrait demander d'inscrire les valeurs de bruit pour les 5 derniers cycles et vérifier s'il y a une baisse du bruit et une augmentation de R. C'est basé sur l'hypothèse que l'observation continue de marche pas.



- Conseil: Observation faussée.
Demandez une autre observation dans 4 à 6 heures.

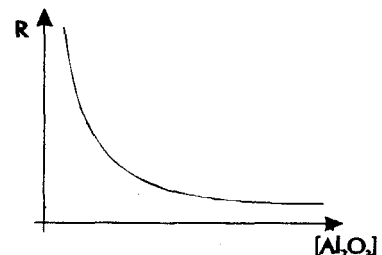
Deuxième cas:

- La courbe d'observation a atteint un max. et descend vers un min.



Raison #1:

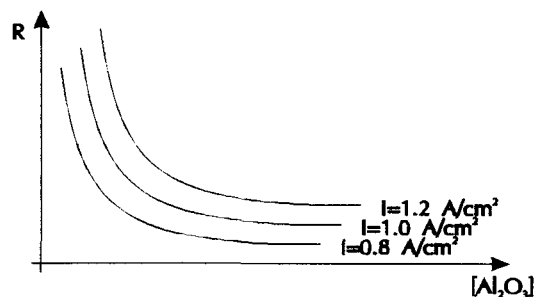
- Observation longue (>90min.) et la température a monté. Le potentiel du bain à dissoudre l'alumine augmente. Ceci permet la dissolution de la boue. Alors, la concentration d'alumine augmente et R peut diminuer beaucoup.



Raison #2:

- C'est ce que pense MYC. C'est plus crédible que #1.
- La cuve est pauvre en alumine et il y a des transferts de courant dans la cuve et donc on a un plan anodique inégal. Sur les cuves, on a une famille de courbes qui sont fonction de la température, ratio et de la densité de courant. Seule la densité de courant varie entre chaque anode. Alors, l'anode de haute densité de courant aura une

résistance se rapprochant de la résistance d'effet anodique alors qu'une autre aura une résistance normale. En voyant plus de résistance, elle va transférer du courant sur des anodes qui en ont



moins. Quand on change le courant de place, on change aussi le R_{cuve} . Quand on transfère de A vers B, la résistance descend de la façon que le transfert de courant se fait.

- Si le courant veut changer de place et un mouvement d'anode est fait (montant), ça ramène le courant de B vers A.
- Il y réfléchit encore, mais les critères seraient les suivants:
 - Observation atteint un max et descend vers un min.
 - Coefficient de variation du courant des anodes > 12 %
 - Bruit constant $\Delta B = 1$ au maximum

-Actions:

- Vérifie s'il y a eu un transfert de courant de A vers B. (C'est long à faire et ça reste à développer.) Ça peut servir à quantifier les valeurs et les poids.

-Annuler l'observation.

-Calcul du transfert de courant:

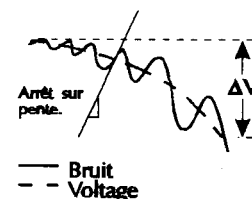
Début		fin		écarts	
6.1	7.2	6.5	7.2	0.4	0.0
6.3	5.4	7.5	7.3	1.2	1.9

- Si la somme des écarts > 10, alors il y a un transfert de courant.

Troisième cas:

- Bruit passe de 5 à 15 et le voltage moyen baisse. À ce moment, c'est un faux critère d'arrêt.
- Si $\Delta R > 0,20 \mu\Omega$ alors, l'observation finit normalement. De toutes façons, il arrivait près du $0,40 \mu\Omega$.

- Si $\Delta R < 0,20 \mu\Omega$ et que l'observation finit avec un bruit élevé, alors l'observation est faussée et on doit prévoir une autre observation.



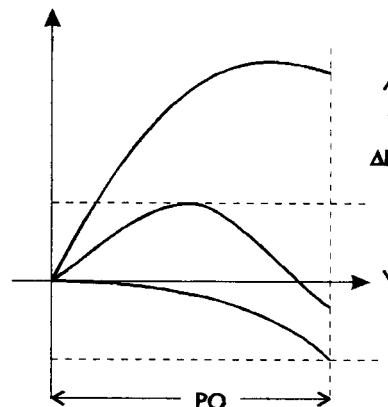
Quatrième cas:

- Validation de l'observation
- L'alimentation rapide est démarrée et on doit observer une baisse de résistance pour valider l'observation. On doit donc vérifier la variation de résistance dans les 30 premières minutes.
- Si $\Delta R > 0,20 \mu\Omega$ (à la baisse), alors l'observation est validée.
- Si $\Delta R < 0,20 \mu\Omega$ (à la hausse), alors, vérifiez si la température < 947 et que le ratio $< 1,06$. Si oui, alors faire un traitement de voltage, l'observation est faussée et demandez une autre observation dans 4 à 6 heures. Qu'il y ait ou pas des transferts de courant, la situation est normale.

Cinquième cas:

Dans la pré-observation:

- Si $\Delta R > 0$ alors la cuve est riche, la conc. alumine est élevée et la durée de l'observation sera plus de 90 minutes
- Si $\Delta R < 0$ alors la cuve est pauvre, la conc. alumine est faible et la durée de l'observation sera moins de 30 minutes.
- On peut valider les résultats de l'observation avec la pré-observation.
- Si non-concordance entre PO et OB, alors:
 - Comportement anormal de la cuve.
 - Demandez une autre observation.
 - Analyser l'allure de la courbe pour voir si l'observation est normale. Sinon, demandez une autre observation. Si oui, c'est normal.



Sixième cas:

Lors d'un mouvement, est-ce que la tendance de la cuve a changé ?

- Si oui, vérifiez le coefficient de variation > 12
 - Si oui, vérifiez s'il y a du transfert de courant, ne faites pas de correction de régime en montant et n'arrêtez pas l'observation.

Validation du 15 octobre 1991 avec M. Marc-Yvan Côté et Yvon Paradis

La représentation des connaissances concernant l'observation d'une cuve est divisée en trois catégories: analyse des 5 derniers cycles, analyse de l'alimentation rapide et analyse de la pré-observation. M. Marc-Yvan Côté et Yvon Paradis sont unanimes à dire que l'opérateur ne fait aucune des actions qui ont été dites jusqu'à maintenant sur l'analyse des courbes de l'observation. Les différentes actions, qui ont été explicitées, sont exécutées uniquement par Marc-Yvan Côté. Ça va lui servir à faire une démarche plus cohérente.

Validation des connaissances de l'observation (alimentation rapide)

Dans le cas où on vérifiait la température (< 947) et le ratio ($< 1,06$), on doit vérifier s'il y a eu des transferts de courant. S'il y a un transfert de courant, l'expertise reste à être développée. S'il n'y en a pas eu, l'observation n'est pas validée. Si la température est inférieure à 947 et que le ratio est inférieur à 1,06, on doit dire "observation dont la durée est surestimée en raison d'une froide" plutôt que "observation faussée".

Validation des connaissances de l'observation (cinq derniers cycles)

Cette partie ne correspond pas du tout à la réalité. Le ΔR a été mélangé. Quelques fois, c'est $R1-R5$ et d'autres fois, c'est $R-R_{\min}$.

Si $R-R_{\min} > 0,20$, l'observation est valide. Sinon, on vérifie les 5 derniers cycles. Maintenant, sur les 5 derniers cycles, ΔR sera $R5-R1$. Si $\Delta R > 0$ et le bruit > 0 , pas de transfert de courant, alors l'observation est validée. Si on a du transfert de courant, alors on doit faire une autre observation dans 4 à 6 heures. Si le bruit diminue avec un $\Delta R > 0$, l'observation est faussée. Si $\Delta B > 0$ et $\Delta R < 0$, l'observation est non-valide. Si $\Delta R < 0$ et $\Delta B < 0$, l'expertise reste à développer.

Validation des connaissances de l'observation (pré-observation)

On doit demander la durée de l'observation (longue ou courte) plutôt que de demander si la cuve est riche ou pauvre. Autre remarque, s'il n'y a pas concordance des résultats, on ne peut dire que l'observation est faussée.

M. Côté propose que ce soit l'ensemble de l'information qui serve à indiquer si on doit demander une nouvelle observation plutôt qu'un cas en particulier. Par exemple, si on en a plus qui

indique que l'observation n'est pas bonne que l'observation est bonne, à ce moment, de façon générale, on va demander une autre observation. Ce serait un genre de compteur. C'est l'opération qui en a le plus qui indiquera l'action à faire.

Aussi, on peut difficilement quantifier en termes de minutes la longueur de l'observation en fonction de la variation de résistance durant la pré-observation.

On peut de faire une relation entre la température, le ratio, la variation de la résistance dans la pré-observation et la durée de l'observation. Cette relation demeure qualitative. Une température normale se situe entre 950 et 955 °C. Un ratio normal se situe 1,07 et 1,13. Dans ce cas, il n'y a pas de transfert de courant. Une température haute sera supérieure à 955 et basse, inférieure à 950. Un ratio élevé sera supérieur à 1,13 et un ratio bas, inférieur à 1,07.

Pour un ΔR normal d'environ $0,10 \mu\Omega$, on aurait le tableau suivant. Un plus (+) indique un ajout de 15 minutes à la période normale de 90 minutes et un moins une diminution de 15 minutes à la période normale de 90 minutes. La période de 15 minutes est plus ou moins sûre.

température	ratio		
	haut (+)	normal (0)	bas (-)
haut (+)	++	+	+-
normal (0)	+	90 minutes	-
bas (-)	+-	-	--

Si le ΔR est supérieur à $0,15 \mu\Omega$, on doit ajouter un autre 15 minutes. Par contre s'il est inférieur à $0,05 \mu\Omega$, on doit soustraire un autre 15 minutes aux données du tableau.

Validation des connaissances de l'observation (longueur de l'observation)

Selon Marc-Yvan Côté, il serait préférable de séparer les conditions parce que sinon c'est trop mélangeant. Les critères doivent être diminués. Les deux conditions principales sont une durée d'observation supérieure à 90 minutes et une courbe d'observation qui a atteint un sommet et qui descend vers un minimum. Si c'est deux conditions sont remplies, on doit ensuite noter le bruit et le coefficient de variation et vérifier le transfert de courant. S'il y a du transfert de courant, on doit annuler l'observation. Sinon, l'observation se poursuit normalement.

Validation des connaissances de l'observation (tendance de la cuve suite à un mouvement d'anodes)

Si la tendance de la cuve a changé suite à un mouvement d'anodes, on doit vérifier s'il y a du transfert de courant et noter le coefficient de variation et le bruit. S'il y a du transfert de courant, l'observation peut être faussée. Sinon, la situation est normale.

La boue

Si la durée de sous-alimentation est longue, c'est que la cuve se nourrit de la boue, ou encore de la gelée qui fond ou au recouvrement. La gelée ne fond pas vite et il n'y a pas beaucoup d'alumine dedans. Ça n'apporte donc pas un gros apport d'alumine. Ça n'allonge donc pas beaucoup la durée de l'alimentation. Si on a pas de boue et que la durée de sous-alimentation est longue, la cuve est en train de consommer le recouvrement. En coupant l'alimentation, on réchauffe la cuve et alors le bain peut dissoudre davantage d'alumine. Les éclaboussures du bain chaud faible en alumine viennent chercher l'alumine du recouvrement. Le recouvrement ne faisant pas partie du bilan d'alumine, on surestime donc la quantité d'alumine dans la cuve.

Durant l'observation, on va vérifier si on a de la boue. En vérité, les opérateurs vérifient la boue uniquement au changement d'anodes. C'est Marc-Yvan Côté qui vérifie la boue. S'il a beaucoup de boue, c'est dû à un changement d'anode. Si on a eu un changement d'anode, il y a eu une masse d'alumine qui est tombée dans le bain en même temps.

Aussitôt qu'on a de la boue, on va vérifier s'il y a eu un changement d'anode.

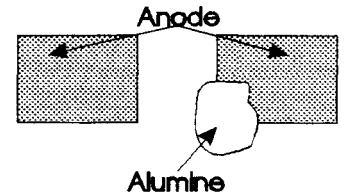
Les causes de la boue peuvent être un régime trop haut, un effet anodique difficile, un changement d'anode, une cuve qui se refroidit soudainement ou un alimentateur qui s'est vidé subitement. Seule l'analyse de l'observation permettra de prévoir la boue.

Les conséquences de la boue sont une observation longue, une hausse de température qui fait fondre la gelée et monte le ratio, une hausse de la chute de tension de la cathode et une hausse du bruit.

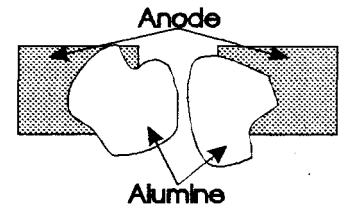
La logique:

Si on a de la boue c'est probablement dû à un changement d'anode. On vérifie quel changement il y a eu lieu. Si c'est une anode près du bout siphonnage, en avant des casseurs, il y a de l'alumine en surplus qui est tombée dans la cuve, car en avant des casseurs, il y a toujours un monticule d'alumine. Si le monticule n'est plus là, il est tombé dans la cuve. Si c'est la cause, si on a beaucoup de boue, on va demander une nouvelle observation immédiatement. Si peu, on va attendre l'observation régulière.

Un peu de boue se définit comme "on sent de la boue à un seul endroit". Comme dans la figure à droite.



Par contre, si on en sent un peu partout sous les anodes, il y a beaucoup de boue. La seconde figure à droite représente ce cas.



S'il n'y a pas beaucoup de boue, on attend l'observation régulière.

On sonde, on voit de la boue. Si peu, on attend. Si beaucoup, on demande s'il y a eu un changement d'anode dans l'environnement immédiat. Si oui, c'est la cause. Selon le niveau de boue, on attend la prochaine observation ou on en demande une autre.

Sinon, on va vérifier si on a eu un effet anodique depuis de dernier sondage du fond de la cuve où c'était normal. S'il a été difficile (plus de 30 minutes), on demande une autre observation ou on coupe le régime. On préférera demander une autre observation. Si l'effet anodique n'a pas été difficile, on va vérifier si la cuve est en train de se refroidir rapidement ("crampe"). On vérifie la température et le ratio dans les derniers jours (48 heures). Si on a une tendance à la baisse (5 degrés) et un ratio inférieur à 1,06, on doit faire un traitement de voltage.

Remarque: Marc-Yvan fait remarquer que dans les trous bloqués, la logique ne correspond pas tout-à-fait à ce qu'il a dit.

Sinon on vérifie s'il y a eu un changement dans l'alumine.

Validation avec M. René Belley et M. Vinko Potocnik le 12 nov. 1991

Les trous bloqués

Les niveaux de métal et de température sont mesurés à tous les 12 heures (2 fois par 24 heures). La cible de bain est de 20,0 cm. Si on a eu 2 à 3 mesures de niveau à 18,0 cm, c'est le moment de faire des additions de bain. Pour une lecture en bas de 18,5 cm, il faut être prudent. On préfère attendre plusieurs lectures. Il faut se rappeler que les problèmes avec les casseurs apparaissent à 16,0 cm et moins.

En réalité, on a jamais fait des vérifications aussi intenses (température, niveau de bain et ratio actuels et dans les 12 heures précédentes). Le ratio du bain varie habituellement en fonction de la température. En ce moment, c'est uniquement la vérification du niveau du bain. Ce qui se fait actuellement, c'est par exemple: niveau actuel = 17,0 cm et niveau il y a 12 heures = 17,0 cm. Le niveau est bas depuis trop longtemps. Ajouter du bain, c'est la cause.

Ce n'est pas à l'opérateur de décider de la cause du trou bloqué. Par exemple, un effet anodique a eu lieu dans les derniers 24 heures sur la cuve F. Le pompage des anodes s'est fait. Ceci a occasionné le gonflement du niveau du bain liquide qui s'est répandu dans la croûte. Lorsque les anodes reviennent à leur niveau normal, il y a eu une perte de 3 à 4 cm de bain.

Voici ce que l'opérateur fait. Il prend une température et un niveau de bain et si le niveau est inférieur à 20,0 cm, il va ajouter du bain. En haut de 16,0 cm, il fait des additions de bain sans traitement de voltage.

Le niveau de bain inférieur à 13,0 cm

Dans le cas d'un trou bloqué, on doit travailler à partir du PEP. Si le niveau du bain est à 13,0 cm, l'action à prendre est directe. Il s'agit de faire un traitement de voltage (+200mV) et des additions de bain. On ne vérifie pas la température et le niveau d'il y a 12 heures ni s'il y a eu un débordement de bain. Si le niveau de bain est supérieur à 18,5 cm, aucune action à faire. Si le niveau est supérieur à 24 cm pendant 36 heures, on doit siphonner le surplus de bain.

Ratio du bain

En réalité, on ne vérifie pas la surchauffe du bain. Les opérateurs ont une idée de la surchauffe sans plus. Pour avoir un trou bloqué, le ratio doit être supérieur à 1,20. Si l'addition AlF_3 ne fonctionne pas, la trémie est vide ou obstruée et doit être vérifiée. Si elle est vide, tu la fais remplir. Si elle est obstruée, tu la fais réparer.

Usure du casseur

On devrait demander quelle est l'usure du casseur. Dans les choix, on doit indiquer *usure avancée* ou *faible usure* sans aucune autre description.

Si le niveau du bain est $< 16,0$ cm, il faut mettre le casseur sur trou B, car si on ferme le casseur, il y aura compensation de l'alumine sur les autres casseurs et ceux-ci auront tendance à se bloquer.

Inspection visuelle (D3)

Après avoir corrigé un problème, on doit faire une vérification plus fréquente à ce niveau. On ne doit pas indiquer Sanivan, mais plutôt de vider la trémie.

Quand le mécanicien injecte de l'air dans l'alimentateur, il entre un tube par le haut de la trémie et il envoie de l'air. Ceci déplace l'alumine et aussi l'objet qui obstrue la sortie du doseur. Celle-ci peut par la suite revenir se positionner dans la sortie.

La granulométrie de l'alumine a peu affaire avec l'obstruction de l'alimentateur. L'ouverture de l'alimentateur est $\frac{7}{8}$ de pouce et ce n'est pas une augmentation de la grosseur de l'alumine qui pourrait le boucher. S'il y a trop de particules fines, cette alumine fait de la boue dans la cuve. Ce n'est pas une cause d'obstruction de l'alimentateur.

Si on a les 4 alimentateurs en défaut, on pourrait vérifier la granulométrie.

Effet anodique

On doit distinguer entre un effet anodique provoqué et un effet anodique non-provoqué. Provoqué coupe l'alimentation et attend l'arrivée de l'effet anodique. Non-provoqué, effet anodique spontané, sans le vouloir.

Si l'inspection visuelle indique un trou bloqué, on doit fermer le casseur au tableau de contrôle et essayez ensuite d'éteindre l'effet anodique.

La cuve n'est plus sous effet anodique lorsque l'ordinateur indique que la cuve est revenue à l'état normal. Si SLO échec et voltage $> 3,5 \text{ V}$ et voltage $< \text{cible} + 1\text{V}$, l'ordinateur va indiquer que la cuve est revenue à l'état normal après 3,6 minutes (1 cycle d'action).

Après le premier SLO et que la cuve est à effet anodique, on doit ramener le plan anodique au niveau zéro avant de démarrer le deuxième SLO. Malgré les mouvements, la cuve ne peut revenir court-circuit. Par contre, ils peuvent éteindre l'effet anodique. Après chaque action, on vérifie le voltage et ainsi de suite.

D'autres discussions ont eu lieu par la suite avec M. Vinko Potocnik seul. Ils ont touché la partie effet anodique (N) et les effets anodiques provoqués. Cette discussion n'étant pas enregistrée, il est donc difficile de la résumer autrement qu'en regardant les modifications faites aux arbres le 12 novembre 1991.

Validation avec M. René Belley et M. Vinko Potocnik le 19 nov. 1991

Arbre B

Si le niveau du bain est supérieur à 16,0 cm, alors ce n'est pas la raison d'un trou de casseur bloqué.

Arbre D

La façon de vérifier si l'alimentation est normale ou pas en comptant le nombre de secondes, est très aléatoire. L'opérateur va plutôt regarder si l'écoulement a l'air normal sans plus. Il ne pourra pas distinguer entre une quantité de 2,0 kg et 1,5 kg en regardant à l'oeil. La durée pourrait varier entre 9 et 12 secondes, mais il ne chronomètre jamais ce temps. On devrait demander si l'écoulement est très faible. Ça correspond à environ 2 à 3 secondes avec un peu de poussières d'alumine.

Granulométrie de l'alumine

Avant de faire la vérification de la granulométrie de l'alumine, on doit d'abord vérifier les trémies. L'angle de repos de l'alumine dans la trémie fait que l'on utilise environ 60 % de son contenu. On peut avoir un angle de repos assez prononcé et l'aéroglossière n'amène plus d'alumine et on manque d'alimentation et on frappe l'alimentateur, ça brise l'angle de repos, mais le problème reviendra. En frappant sur le doseur, ceci brise l'angle de repos, mais corrige le problème pour quelques minutes seulement. Si on a quatre alimentateurs en défaut, la première action est de vérifier s'il y a encore de l'alumine dans les trémies. Si les trémies sont pleines, on peut soupçonner la granulométrie. Que l'on ait un ou plusieurs casseurs en défaut, il faut vérifier s'il y a de l'alumine dans la ou les trémies. Aussitôt qu'on remarque une faible quantité d'alumine sortant de l'alimentateur, on doit vérifier si la trémie est vide. C'est réellement comme ça que ça se passe dans la salle de la cuve A-310.

Si on a une alumine poussiéreuse, c'est-à-dire que la quantité de particules inférieures à 20 μm est supérieure à 1%, il faut vider les trémies. Par contre, si la quantité de particules inférieure à 20 μm est inférieure à 1%, on attend. L'alumine est trop petite et ne peut se dissoudre dans le bain et s'en va au fond de la cuve.

Effet anodique (arbre E3)

Un effet anodique se produisant à la suite d'une observation est considéré comme un effet anodique non-provoqué. Car le but de l'opérateur est de commander une observation et non un effet anodique. Lorsque l'effet anodique est provoqué, on ne fera pas une inspection de la cuve. Dans les effets anodiques provoqués, on retrouve l'effet anodique manuel (EAM) ou l'effet anodique automatique (EAA). Lorsque c'est manuel, c'est l'opérateur qui dirige l'alimentation et l'extinction. L'ordinateur ne fait strictement rien. L'opérateur est laissé à lui-même. Par contre, il peut, s'il le veut, déclencher le SLO.

Dans l'effet anodique manuel (EAM), on ne cherche pas avoir un effet anodique de plus de 25 volts. C'est trop haut en voltage. On préfère un effet anodique à 12 ou 15 volts, car le but de l'effet anodique manuel, c'est de faire du bain ou de réchauffer la cuve. Plus les anodes sont immergées ou basses, meilleur sera le rendement de l'effet anodique. Si les anodes sont peu immergées dans le bain, celles-ci réchauffent uniquement une faible profondeur (~2 cm) pour un effet anodique fort en comparaison avec (8 à 10 cm) pour un effet anodique faible. Si on a un voltage stable, l'opérateur laisse durer l'effet anodique selon le nombre de minutes désiré. Pour avoir un effet anodique, il faut que le voltage soit supérieur à la cible plus 2 V. Pour l'arrêter, il faut que le voltage soit inférieur à la cible plus 1V.

Ensuite, on doit ramener le plan anodique à zéro si nécessaire. Si le plan est déjà au niveau zéro, on a aucune action à prendre. Sinon, on doit le ramener à zéro. L'opérateur déclenche alors le SLO par le programme 787 qui est considéré comme le premier SLO. Ce SLO ne peut être déclenché à partir du PEP, seulement à partir de la salle de contrôle. Sur la cuve M, on préfère utiliser le SLO pour éteindre l'effet anodique plutôt que le bout de bois dans le cas d'EAM. En effet, le niveau de bain restait constant, car il y avait autant d'anodes qui montaient que d'anodes qui descendaient. Sur la cuve F, ce serait le contraire. En effet, tout le plan anodique descendait et le niveau du bain montait et on en perdait dans la croûte. On préférerait le bout de bois, car on évitait de gonfler le niveau du bain.

Effet anodique (arbre N)

À partir de N2, on peut accepter que le niveau du plan anodique soit entre -5 et 0 mm pour déclencher le deuxième SLO.

À partir de N5, si l'effet anodique est stable, la seule action à prendre est de ramener le plan anodique au niveau zéro. Ensuite, on vérifie le voltage. C'est très important.

Une fois que le morceau de bois est passé, une catégorie de voltage doit être ajoutée. Il s'agit de forte instabilité, court-circuit--haut voltage. Le voltage varie entre 1,5 volt à 15 volts par exemple. À ce moment, l'opérateur fait une sortie haut voltage.

Quand la cuve est encore EA, il faut qu'il soit stable, on doit baisser les anodes de 3 mm.

À partir de N7, côté stable, on doit monter les anodes par coup de 2 mm jusqu'au niveau zéro tout en maintenant la stabilité. Du côté instable, on doit aussi agir par coup de 2 mm jusqu'à ce que la stabilité soit atteinte.

Dans N8, on ne peut demander si le niveau de bain est à son maximum, car si on monte les anodes, le niveau de bain descend. Il n'y a pas d'utilité. De toute façon, il n'y a plus de problème avec le niveau de bain, puisque pour l'opérateur, il est rendu à son troisième essai et ça fait 15 minutes que la cuve est à haut voltage. En aucun temps, on va avoir de la difficulté à monter les anodes, ce sera plutôt pour les redescendre qu'on aura de la difficulté.

Lorsque la cuve est stable, on doit descendre par coup de 2mm, car ça laisse le temps de réfléchir, de réagir et d'avoir la réaction de la cuve. Cette descente se fait plus rapidement qu'un mouvement par cycle d'action. Si on faisait un seul mouvement par cycle d'action, la cuve resterait à haut voltage trop longtemps. M. Belley préfère ne pas mettre de temps précis, car la réaction de la cuve varie dans le temps. On attend la réaction avant de faire une nouvelle commande.

À ce moment, on doit faire attention au niveau de bain. Deux paramètres doivent être respectés: la stabilité de la cuve et le niveau du bain.

À N10, on ne voit pas tellement la vitesse de descente du voltage. On va plus remarquer la stabilité. Voici un exemple pour comprendre la façon d'opérer à haut voltage. On a monté le plan anodique de 12 mm pour atteindre la stabilité. On doit donc descendre les anodes par coup de 2 mm tout en respectant le niveau du bain. Lorsqu'on aura atteint le niveau zéro, tu vérifies le voltage et le niveau du bain. À ce moment, tu peux descendre en bas du niveau zéro, environ à -4 ou -5 mm. Rarement plus bas, car le niveau du bain ne le permettra pas et la cuve va aller vers un court-circuit. Une descente en voltage peut prendre 5 à 10 minutes. Lorsque le voltage a atteint 6V, si le niveau est à -5, tu ramènes ton plan anodique au niveau zéro, car sinon, la cuve se dirige

vers un court-circuit. Une fois que le niveau du bain est à zéro, tu ramènes les anodes à -4 ou -5 mm si le niveau du bain le permet.

Première action: Descendre rapidement les anodes par coup de 2mm jusqu'au niveau zéro tout en maintenant la stabilité. Ça veut dire que l'on peut arrêter la descente à +4 si la cuve commence à être instable. Il n'y aura pas de problème, car la DAC est encore assez grande. À partir du niveau zéro, on fait un temps d'arrêt, on vérifie la stabilité de la cuve et le niveau du bain. La vérification du niveau de bain se fait visuellement (débordement ou pas). La question-type serait: Est-ce que le niveau du bain permet une baisse des anodes ? En faisant cela, c'est impossible que l'effet anodique parte. On va avoir plutôt une pente de résistance très égale et très lente. Si le niveau du bain permet une baisse des anodes, on va aller jusqu'à -4mm tout en vérifiant le niveau, sinon, on ne touche pas aux anodes. Il ne faut pas s'attarder trop au niveau du bain, car c'est secondaire en comparaison avec le voltage. On doit sauver le voltage. Pour baisser les anodes sous le niveau zéro, on a deux conditions: niveau de bain acceptable et haut voltage (8V).

Ensuite, on vérifie le voltage. Si le voltage est en haut de 8V, alors on peut faire une baisse de 2 mm et on retourne vérifier le niveau du bain. Si le voltage est en bas de 8 V, on ne bouge pas les anodes et on attend jusqu'à ce que le voltage soit à 6V. À 6V, on revient au niveau zéro et on respecte ainsi la bonne DAC et on laisse travailler l'ordinateur et on se branche à N13. Il y a un changement dans l'alimentation après un effet anodique haut-voltage, on devra vérifier ce point. En effet, 30 à 60 minutes après que l'ordinateur a signalé la fin de l'effet anodique, l'opérateur effectue une correction négative sur l'alimentation.

Durant cette période, la cuve reste stable, car il n'y a plus d'électrolyse. Ce qu'il faut faire attention, c'est de ne pas générer une vague de métal. Pour l'éviter, on doit respecter la DAC. Si la DAC est trop faible, le métal va venir frôler les anodes et ça va repartir.

On doit donc éliminer N10, N11 et N12.

Validation avec M. René Belley et M. Vinko Potocnik le 21 nov. 1991

EFFET ANODIQUE

Concernant l'alimentation en alumine après une sortie haut voltage, il y avait une diminution de l'alimentation en alumine pour une certaine période de temps. Il travaille en fonction de la température. Par exemple, si la cuve est à 980°C, on baisse de 30 kg l'alimentation. L'avancement des tests ne permet pas de donner des valeurs précises sur la coupure de l'alimentation en fonction de la durée et la température. Lorsqu'il faisait cette pratique, il suivait la courbe de résistance et décidait au fur et à mesure si c'était le moment d'arrêter. C'était une méthode en développement. Ce que l'on peut dire, c'est qu'il y a une correction négative qui doit se faire sur l'alimentation selon le jugement de l'opérateur jusqu'au retour d'une température cible d'opération. Ceci implique que si la température redescend à 950°C, il n'y aura alors pas de boue dans la cuve (c'est un indice). Une cuve boueuse ne sera jamais à une température cible.

Effet anodique stable (N5)

Après un deuxième SLO, on passe un bois. On passe le bois que l'effet anodique soit stable ou instable et si par la suite, la cuve est encore instable, on fera la sortie haut voltage telle que prévue dans les arbres de décisions.

On doit donc éliminer la question effet anodique stable ou instable. Pour donner une chance d'éteindre l'effet anodique, le niveau de plan anodique doit être un peu inférieur à zéro. Donc à -5 au départ, c'est parfait. Il reste à passer un morceau de bois. Si le plan anodique est trop élevé, on va baisser le plan anodique. Si le plan anodique est déjà à zéro, on va le baisser pour le ramener aux alentours de -5 par coup de 2 mm (-4 serait acceptable). Donc on vérifie si le niveau est à -5. Si oui, on passe le bois. En baissant le plan anodique, on vérifie le voltage. Car en baissant à -5, on a pu tuer l'effet anodique. On se rend compte qu'on est encore à haut voltage et on passe le bois.

On insère un bois. On ne le laisse pas brûler le bois complètement. On le laisse quelques temps sous les anodes, puis on l'enlève.

Arbre N7

La cuve est stable et on fait la sortie haut voltage. Habituellement, il y a peu de chance que le bain déborde de la cuve tant que le niveau du bain est supérieur au niveau zéro.

Quand on vérifie si le niveau du bain permet une baisse des anodes et que la réponse est non, l'opérateur doit attendre. Le voltage descendra lentement au fur et à mesure que le temps va passer.

SLO PAS PERMIS

État normal:

On doit uniquement dire de commander le SLO par le programme 787. Il n'y a pas d'autres actions à prendre. On considère ce SLO comme étant le premier. L'opérateur devrait faire un -5 mm avant de demander le deuxième SLO comme le ferait le programme du premier SLO original.

État siphonnage:

Il n'y a pas de signification à la phrase "tombe à l'effet anodique automatique". Le problème de l'effet anodique durant le siphonnage est que le plan anodique n'est pas à zéro. L'opération de la cuve durant cet état fait que l'ordinateur accepte un écart de +12mm par rapport à sa cible.

Dans l'état siphonnage, l'ordinateur utilise un programme de correction rapide du voltage (toutes les 36 secondes plutôt qu'à chaque 3,6 minutes).

Lorsque l'on siphonne du métal, la DAC s'agrandit et le voltage augmente. La boucle de contrôle de l'ordinateur a tendance à faire baisser les anodes pour garder la même DAC. Donc, avant d'agir, l'ordinateur va laisser monter le voltage et ne fera pas les descentes pour compenser le +12mm. Donc, le voltage qui est habituellement à 4,1 V, sera maintenu à 4,5 ou 4,6V au maximum.

En ce moment, il n'y avait pas de contrôle automatique pour ramener le plan anodique au niveau zéro si un effet anodique se produisait durant un siphonnage. C'était en développement.

En baissant le plan de 15 mm, le plan anodique se trouvera donc soit au niveau zéro, soit à -3 mm. Le voltage a déjà un +12mm; c'est acquis. On peut avoir un effet anodique à +3 ou +5 mm au-dessus du +12mm. En haut de +5mm, il fait des corrections. Donc, on situe que l'effet anodique va se produire à +3mm soit la valeur moyenne entre 0 et +5mm. Le pire cas serait que l'effet anodique se produise à +5mm et en baissant les anodes de 15mm, le pompage s'effectuerait donc à +2mm au-dessus du niveau zéro. On devrait donc recommander de baisser le plan de 15 mm et d'actionner ensuite le SLO par le programme 787. Si après le pompage, on n'a pas de réussite, on fait un -5mm et on commande encore le programme 787.

Changement d'anodes

Sur la cuve M, si un effet anodique se produit durant un changement d'anodes, la suspension de l'anode sur lequel s'effectue le travail, ne sera pas commandée durant le SLO. C'est donc pour ça que le SLO est permis. L'effet anodique est donc traité de façon automatique non-provoqué.

Sur la cuve M, un changement d'anode n'implique pas l'état SLO pas permis comme le fait la cuve F. Donc cet état ne devrait pas exister dans cet arbre.

Étant donné que le système expert donc être fait pour la cuve M, cet état ne sera jamais accessible. On décide de l'éliminer complètement puisqu'il ne servira à rien.

Remise en charge:

On ne peut le traiter comme un effet anodique non-provoqué. Le contrôle d'un effet anodique durant une remise en charge doit se faire en fonction de la durée de la charge à terre. Par exemple, si ça fait 15 minutes que la charge est à terre (pas de courant), on peut partir le 787. Par contre, si ça fait 1½ heure que la charge est à terre, on ne partira pas le 787.

L'expert n'a aucune inquiétude à démarrer un 787 si la charge à terre a duré moins de 1 heure. Si on a la durée est plus d'une heure, on traite généralement l'effet anodique par l'insertion d'un bois.

Effet anodique manuel

L'effet anodique manuel est traité avec l'effet anodique provoqué. Donc, le cheminement logique ne permettra pas de se rendre à cette branche.

Alimente seulement

Aucune modification.

Observation (arbre P)

Les arbres représentent surtout les connaissances nécessaires pour l'étude de l'observation plutôt que de l'assistance à l'opérateur. C'est plus pour Marc-Yvan Côté et ses besoins. Les opérateurs ne font strictement rien durant ou après l'observation. Ils ne décident pas non plus de commander une observation autre que celle prévue par l'ordinateur.

Ces connaissances ne sont pas encore au point. Le développement de cette technologie est encore très jeune. L'usine Grande-Baie préfère encore utiliser le contrôle de l'alimentation d'une usine d'Angleterre. Ils ont eu d'excellents résultats avec ALI-OB, mais uniquement avec une cuve à 2 de bruit. À 6,7 ou 8 de bruit, ils perdaient le contrôle complet de la cuve. Aussi, ALI-OB avec une cuve instable la remplit de boue. Et habituellement, il faisait régulièrement une observation complète (régime zéro et arrêt selon un ΔR) pour vérifier l'alimentation.

Les experts en présence jugent cette expertise très bonne, mais trop spécifique à Marc-Yvan Côté. Les personnes concernées par le développement de cette technologie n'en étaient pas encore rendues à la considérer comme de l'expertise. De plus, les opérateurs n'ont jamais été impliqués à faire les changements.

Toutes les observations sont demandées par l'ordinateur. Le seul problème qui peut arriver avec l'observation, est que celle-ci se termine par un effet anodique et à ce moment, on travaille l'effet anodique et non l'observation.

Quand Marc-Yvan Côté travaillait sur ALI-OB, il demandait à l'opérateur de relever certains points particuliers pour qu'il puisse développer son expertise, mais c'était purement expérimental, ce n'était pas une pratique d'usine et c'était loin d'être une expertise.

Il est donc décidé que les arbres P, P1 et P2 soient retirés.

Boue:

Exemple d'opération: durant un changement d'anode, on repère de la boue. L'opérateur ne fait strictement rien. La seule place qu'on vérifie la boue, c'est sous le casseur.

On remarque la boue surtout avec ALI-OB. La cuve devient instable et la température se met à monter et se stabilise à une valeur haute (ex.: 972°C). À ce moment, le régime est réduit.

Remarque: Aussi, l'observation n'ira pas chercher la boue. Elle utilise l'alumine en suspension dans le bain. On peut avoir un effet anodique et avoir beaucoup de boue au fond de la cuve. Pour éliminer la boue, la seule façon est de maintenir un régime pauvre pendant plusieurs jours. Mais, l'observation n'ira pas chercher la boue au fond de la cuve. L'opérateur ne demandera jamais une observation, encore moins si la boue est présente en un seul point dans la cuve. L'opérateur vérifie la boue si la température est haute (960°C et plus pendant plus de 3 jours). On vérifie la boue au bout siphonnage. Si pas de boue, on ne fait rien.

S'il y a de la boue, on peut poser la question sur le changement d'anodes aux alentours du casseur. Si c'est oui, on vient de trouver la raison de la présence de la boue. On doit donc indiquer qu'il faut surveiller la boue dans la cuve.

On est parti avec une température haute (indice de boue). Il y a de la boue parce qu'une anode a été changée. On doit savoir si la boue est généralisée sous les anodes (près du casseur, sous les anodes près du tablier). Ex.: boue sous le casseur, pas de boue sous les anodes près du tablier; c'est peu probable que ce peu de boue fasse réchauffer la cuve. 2- boue sous le casseur et près du tablier, alors c'est probablement la raison d'une haute température.

S'il y a eu un changement d'anodes aux alentours du casseur, on doit demander "est-ce que la boue est localisée aux alentours d'anodes changées."

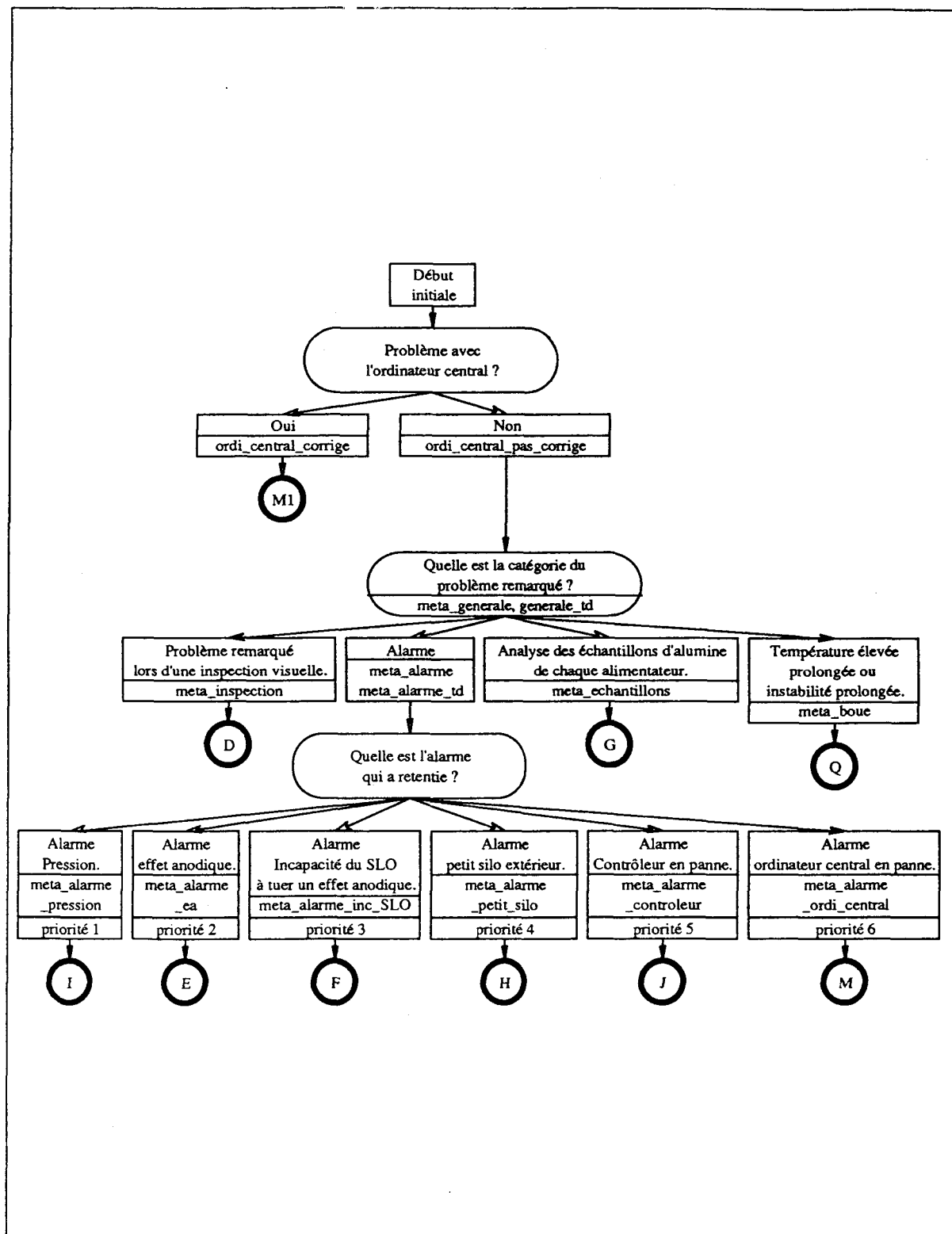
Si oui, aucune action. Si non, il y a de la boue ailleurs et l'opérateur devrait le noter et avertir le contremaître parce que ce sont des actions prises par le contremaître et non par l'opérateur. On préfère ne pas indiquer trop d'actions brusques à la cuve parce que ça peut prendre 3 à 4 jours pour ramener une cuve boueuse. L'opérateur devrait donc vérifier fréquemment la boue.

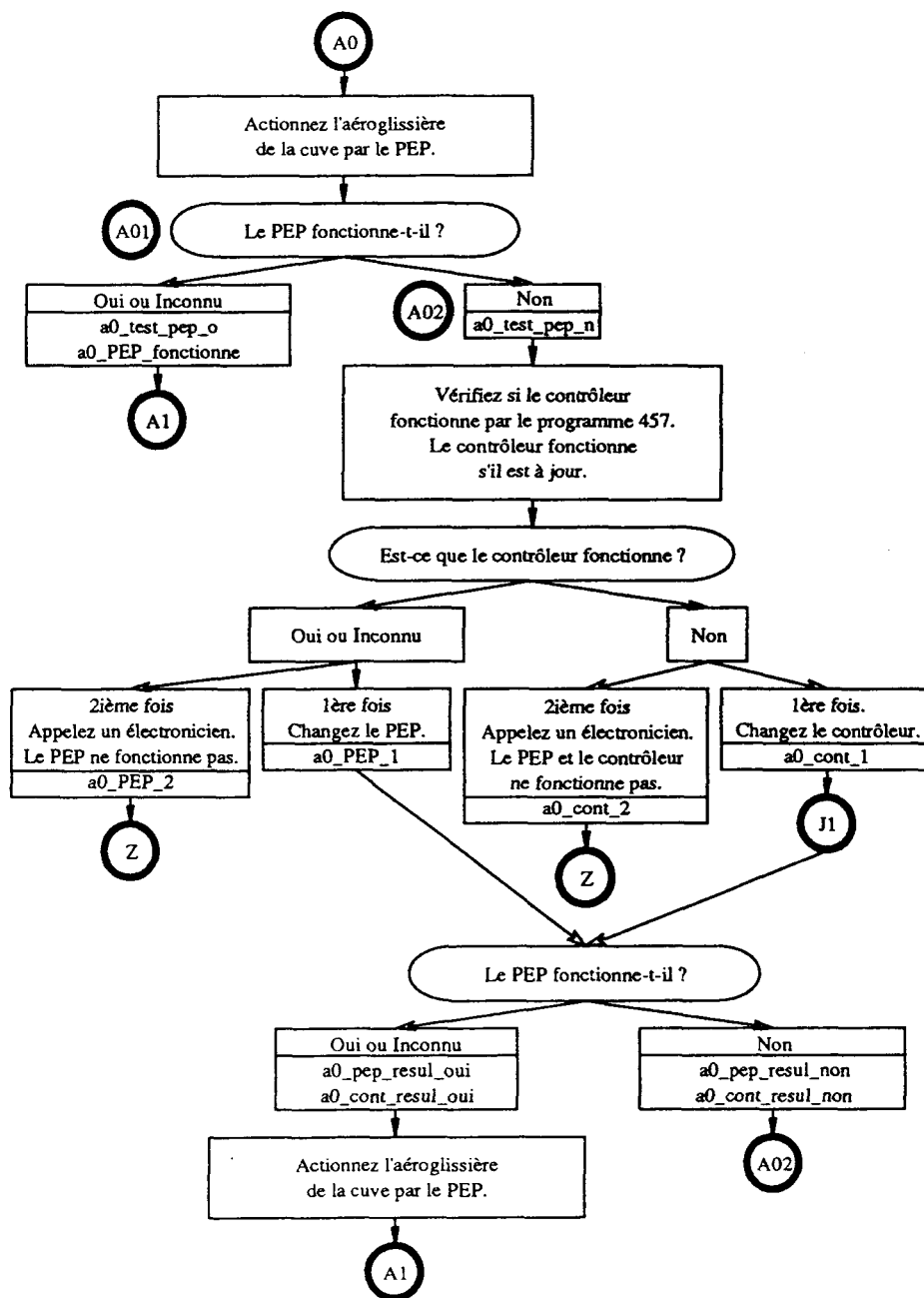
La question portant sur l'effet anodique difficile a été vue dans les arbres de concernant les effets anodiques. La question devrait être "a-t-on eu un effet anodique ?". Il serait préférable d'augmenter la coupure de l'alimentation. On devrait donc réduire l'alimentation selon le jugement de l'opérateur. Du côté négatif, la recommandation est impossible. La cuve ne peut se refroidir. Une cuve froide fait plus d'électrolyse qu'une cuve chaude et consomme davantage d'alumine. Donc, on ne peut pas dire que la cuve est en train de se refroidir puisqu'elle est à haute température. De plus, ce n'est pas liée à la boue. Quand la température est haute, il y a du danger de suralimentation.

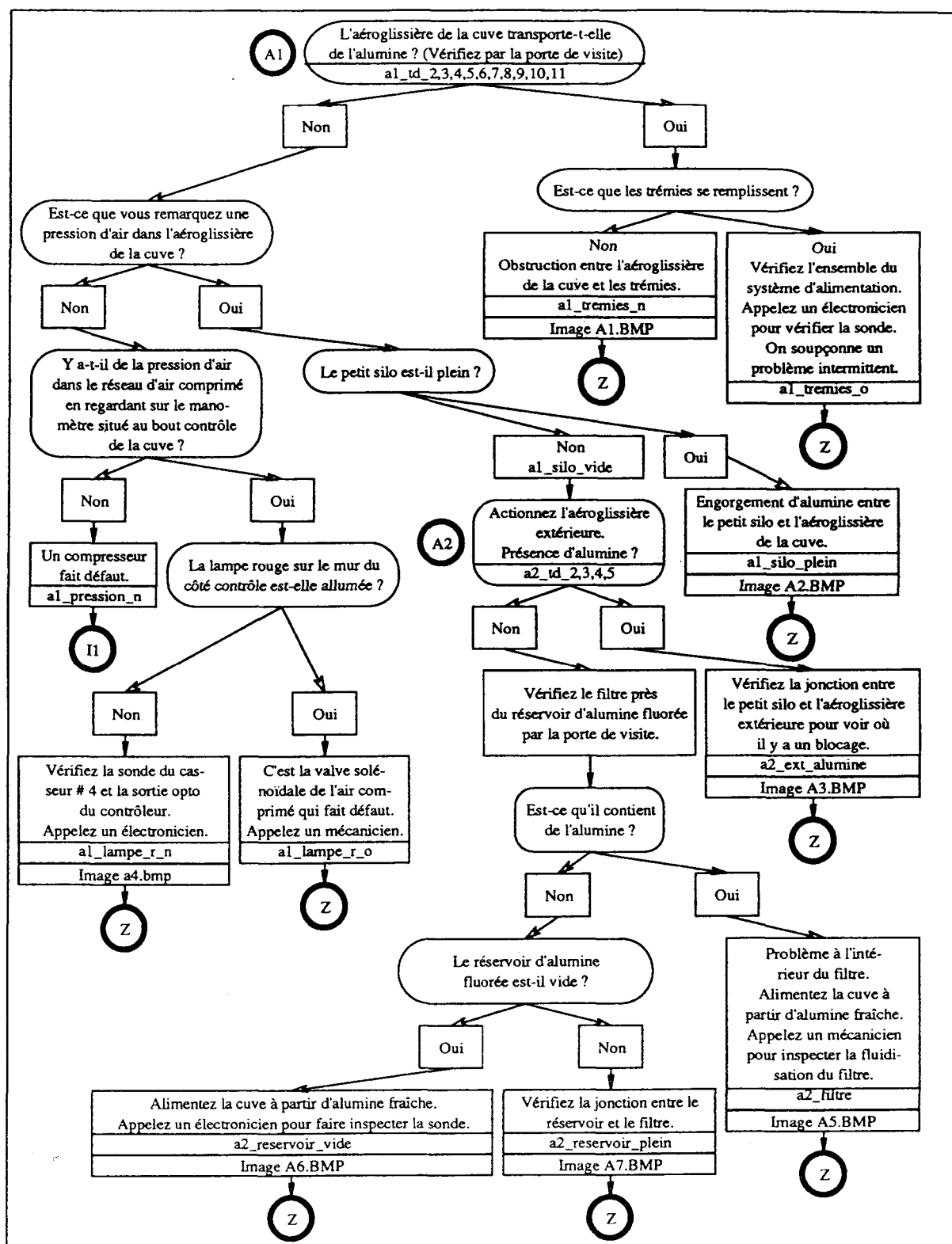
La boue est créée davantage lorsque la cuve est chaude. Donc, si on a pas eu un effet anodique difficile, alors on devrait surveiller fréquemment la boue. Aussi, dans la question originale, on doit ajouter si on a une instabilité prolongée avec une haute température. Les deux peuvent indiquer la présence de boue.

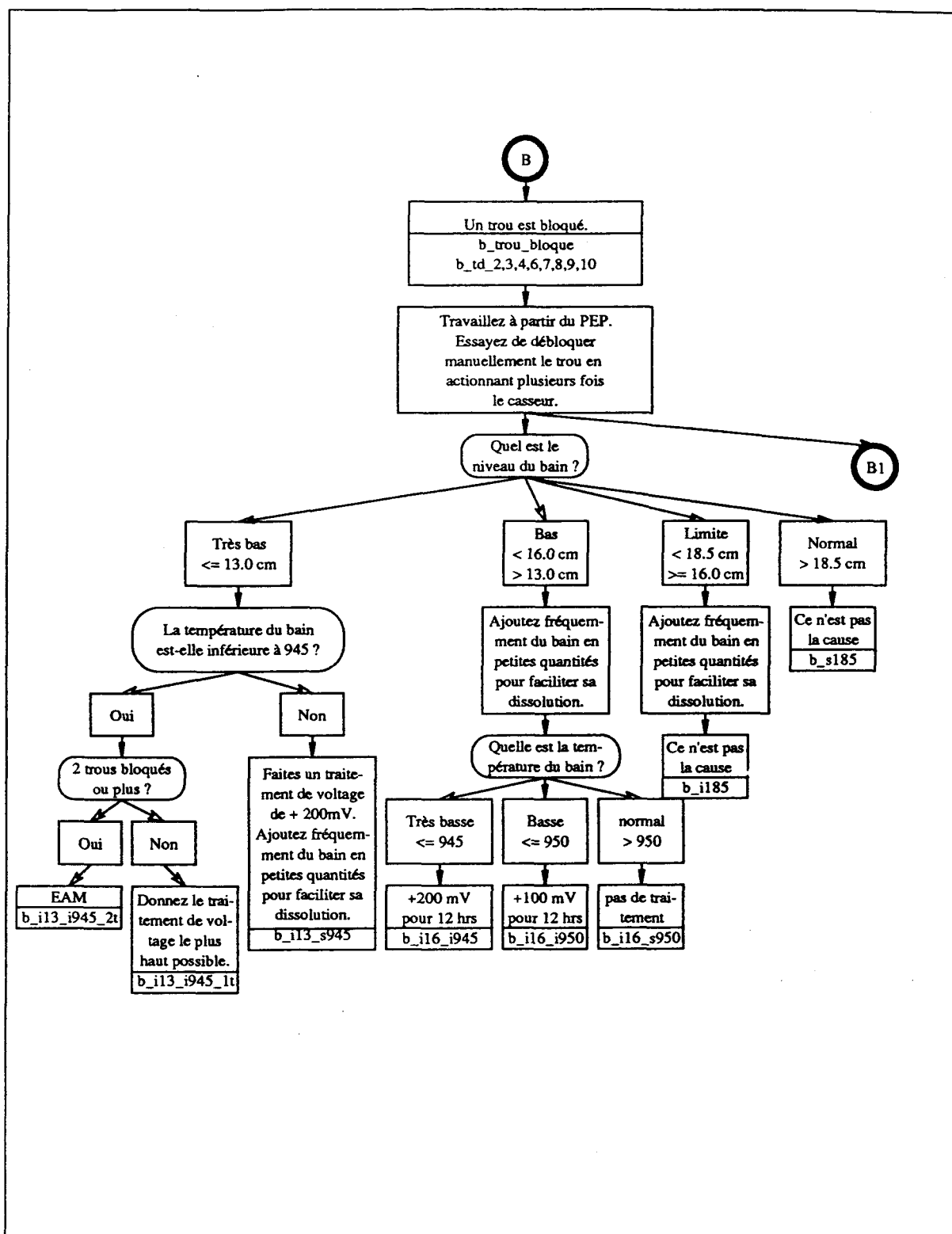
ANNEXE 2

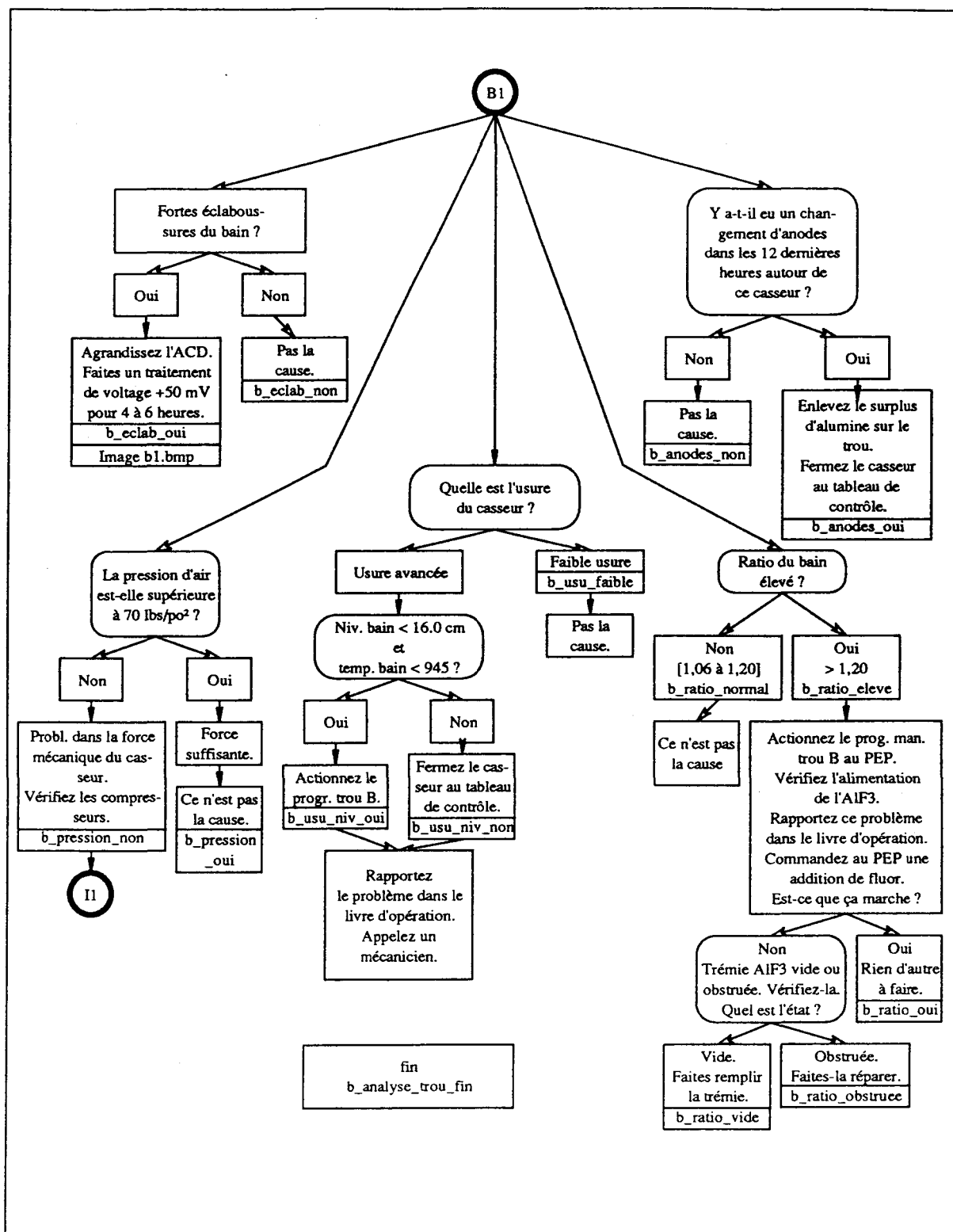
Arbres de décisions

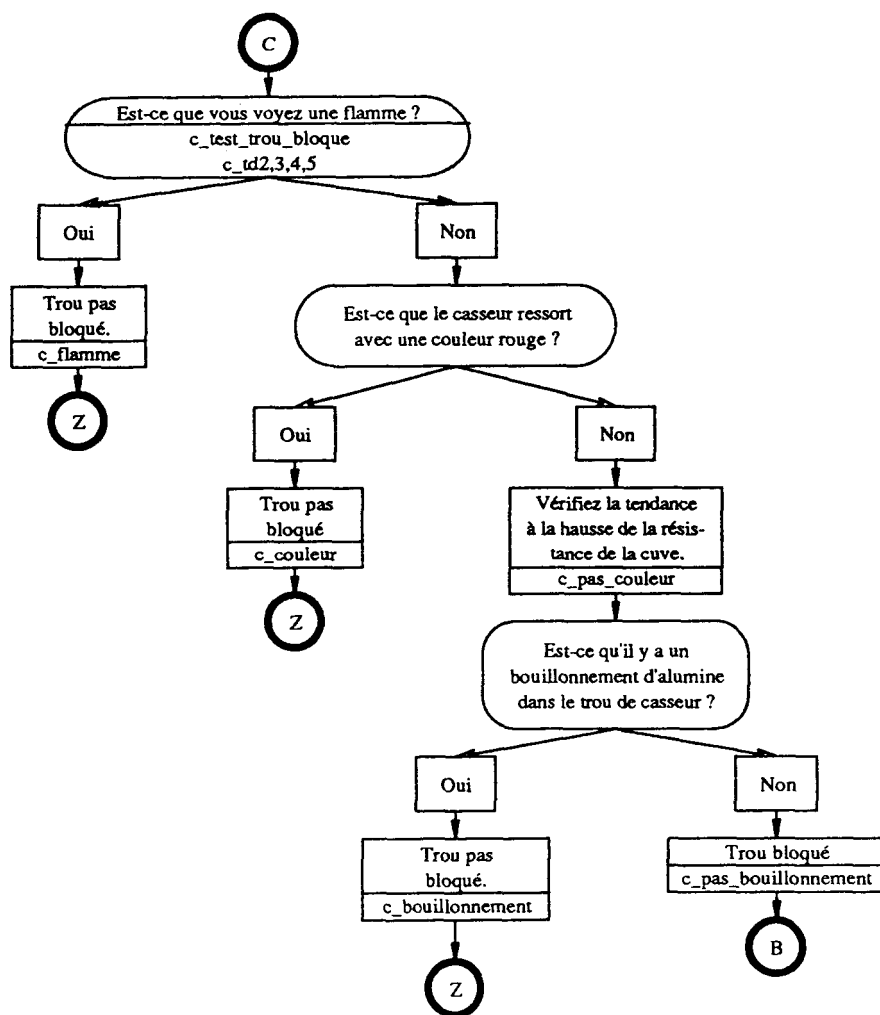


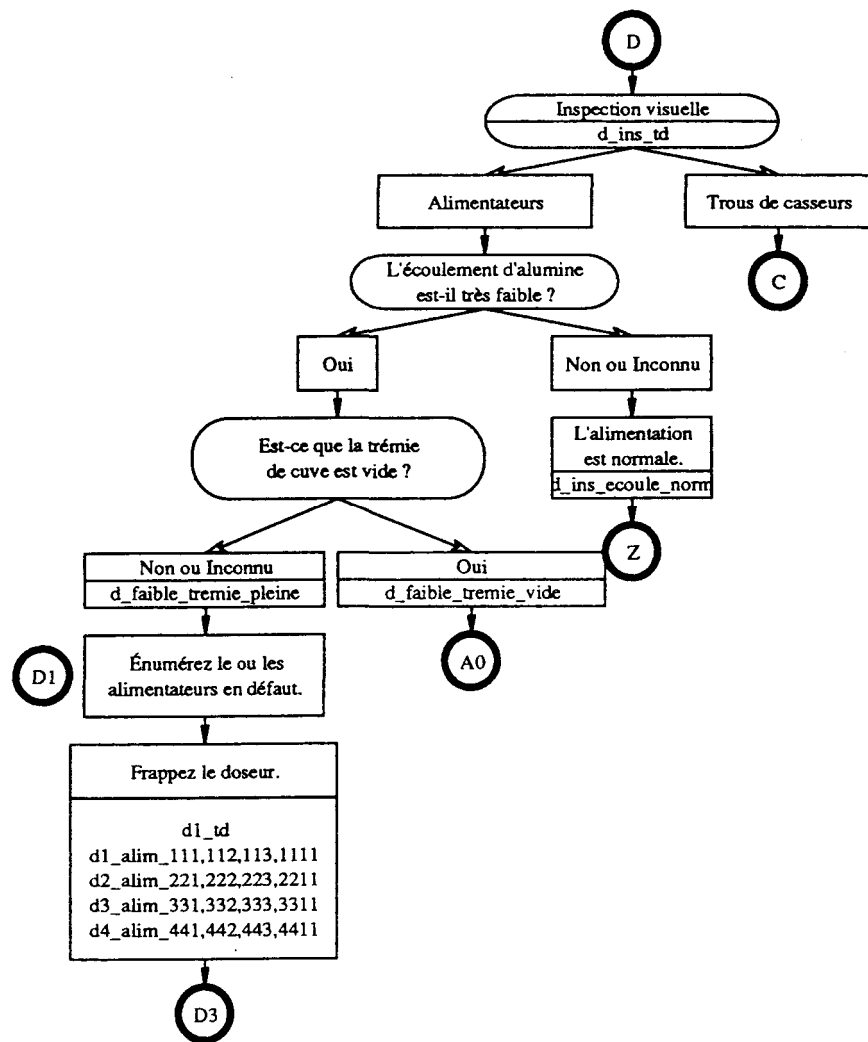


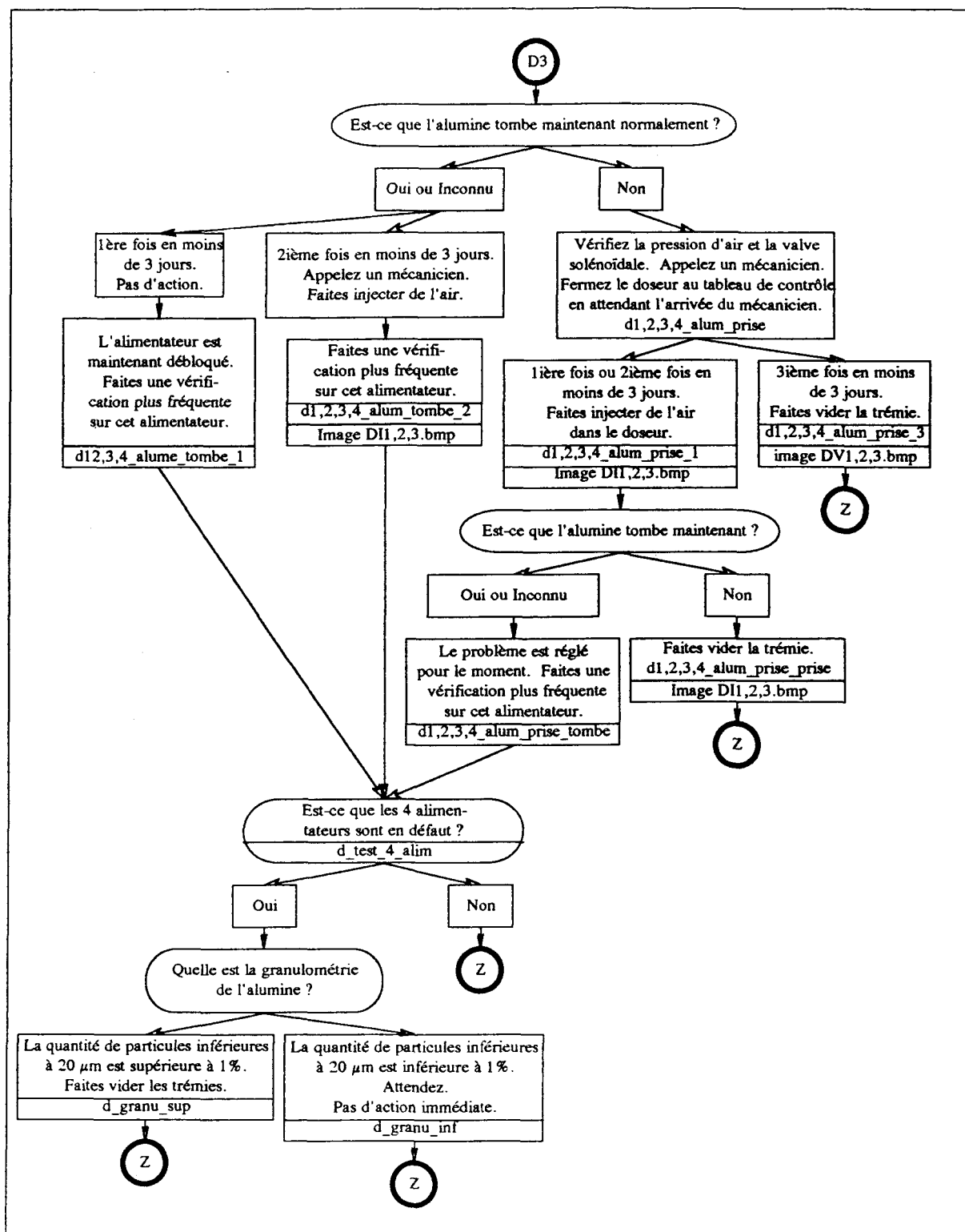


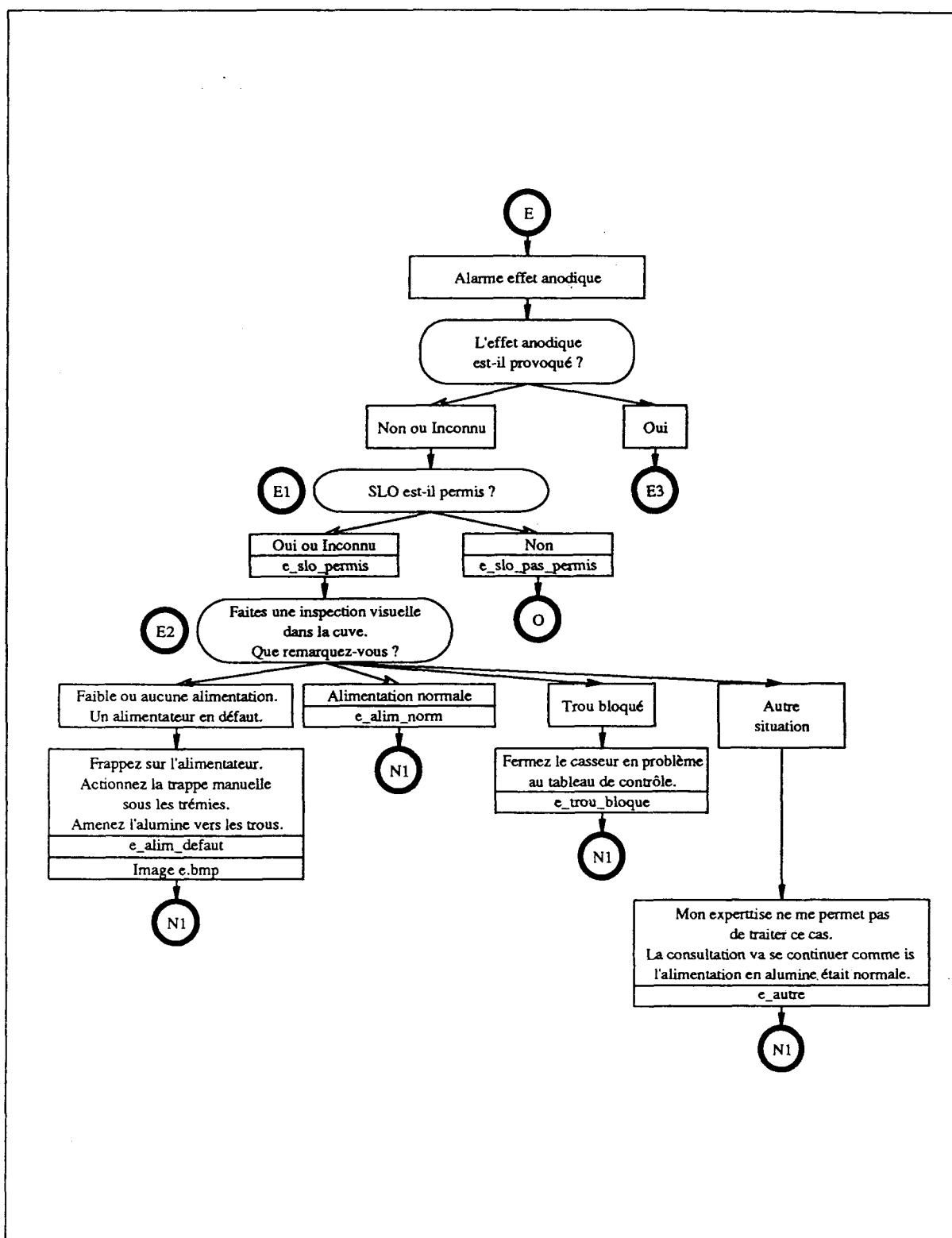


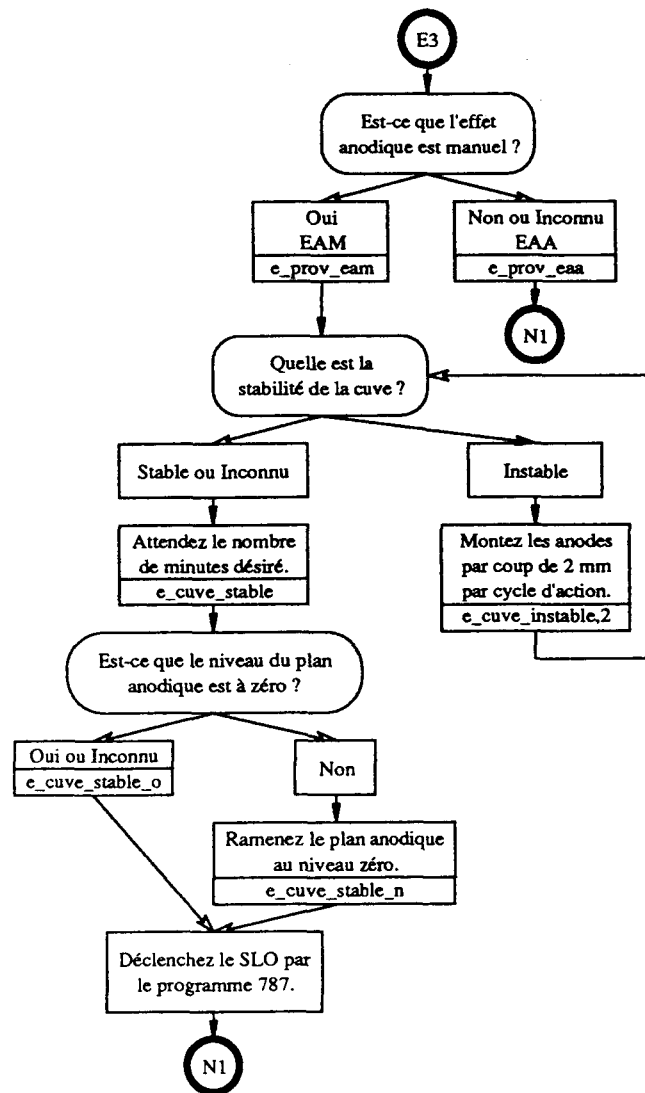


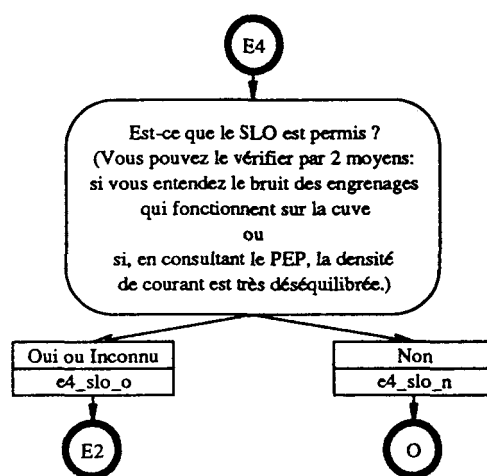


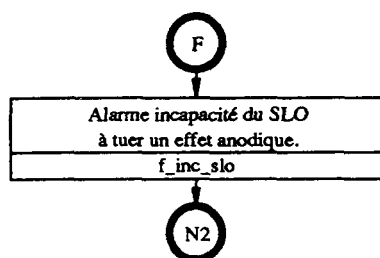


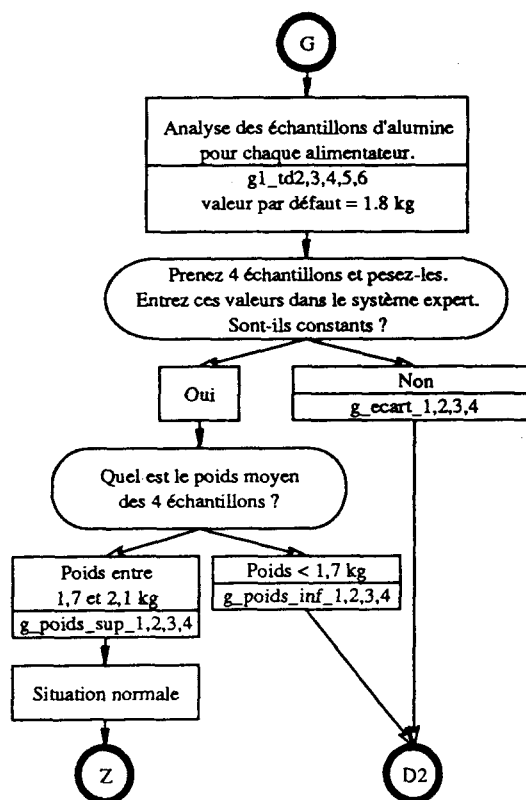


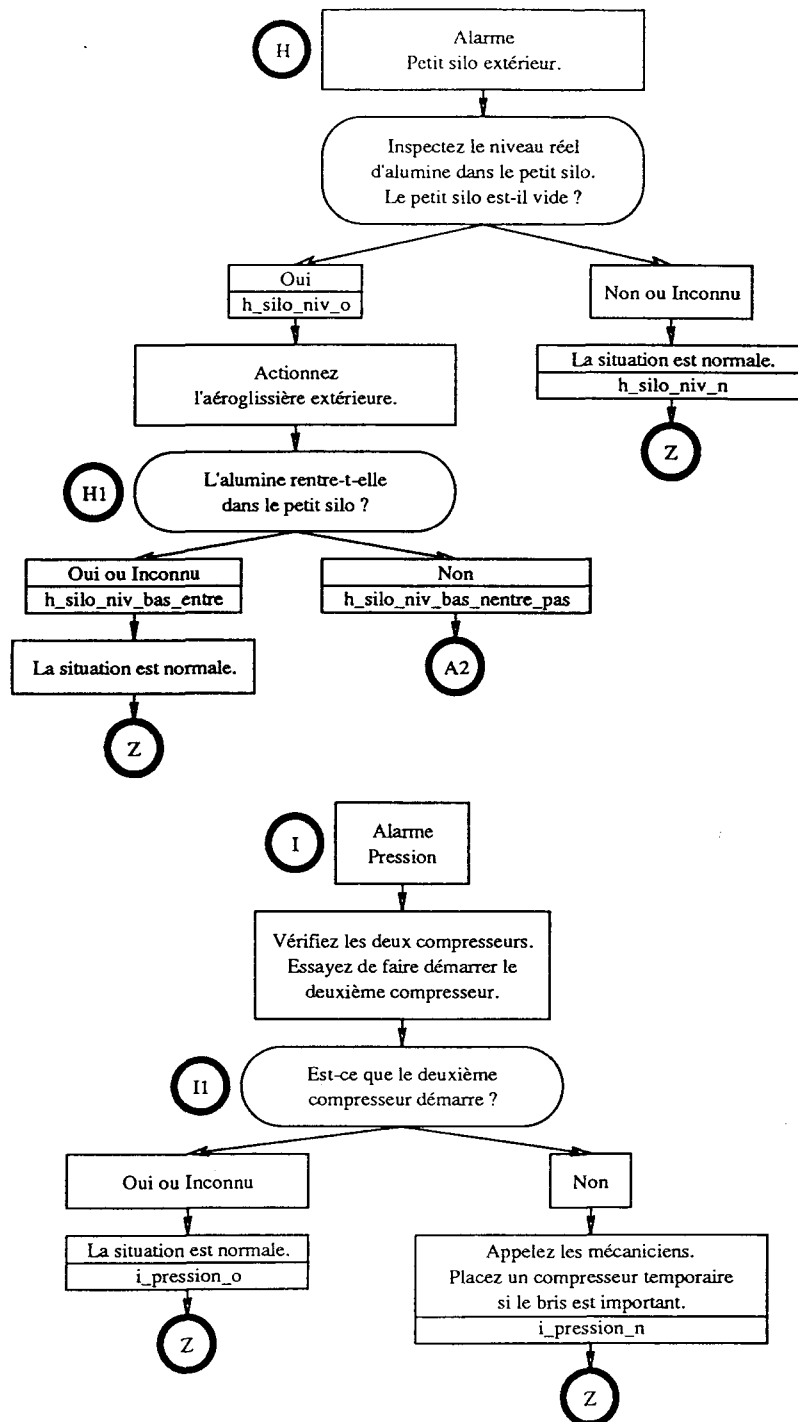


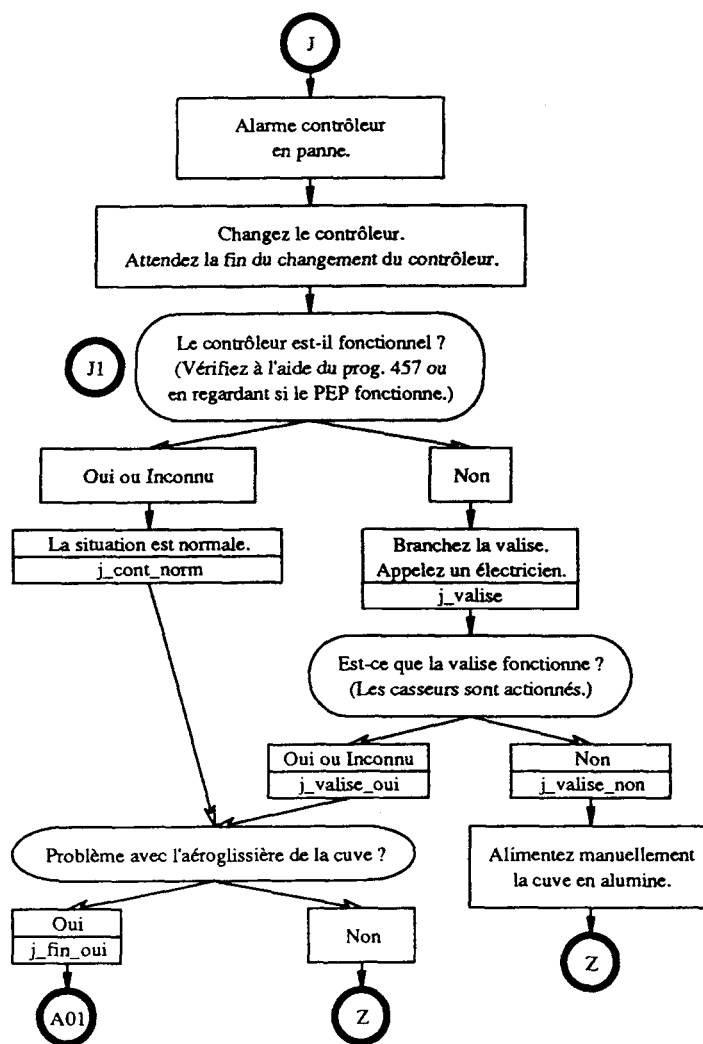


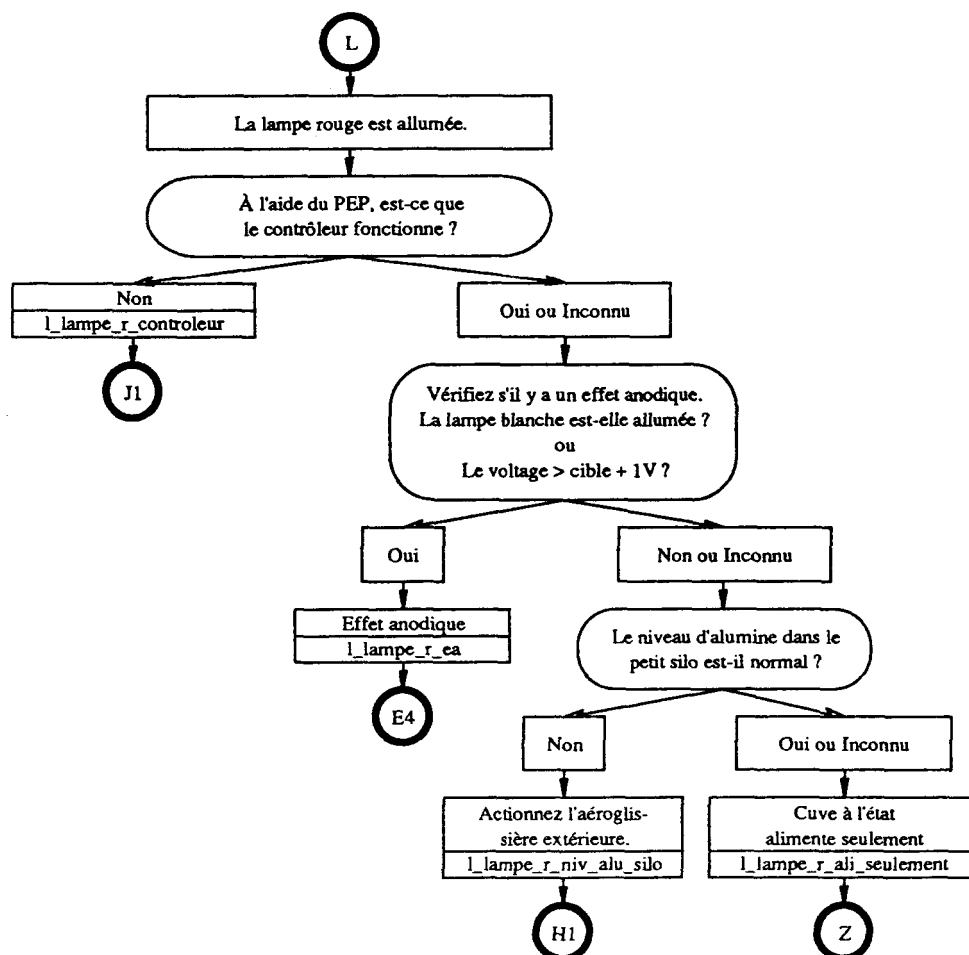


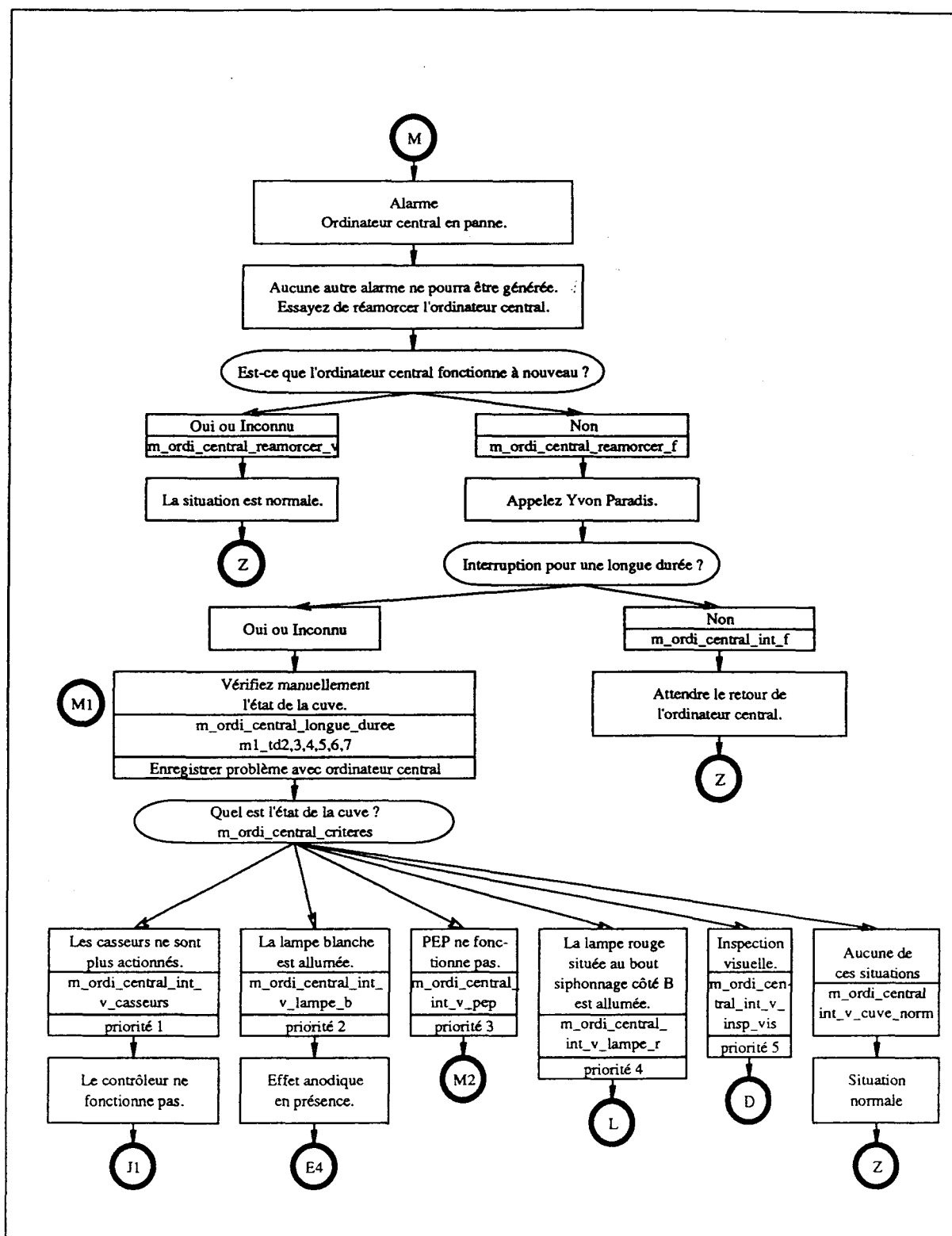


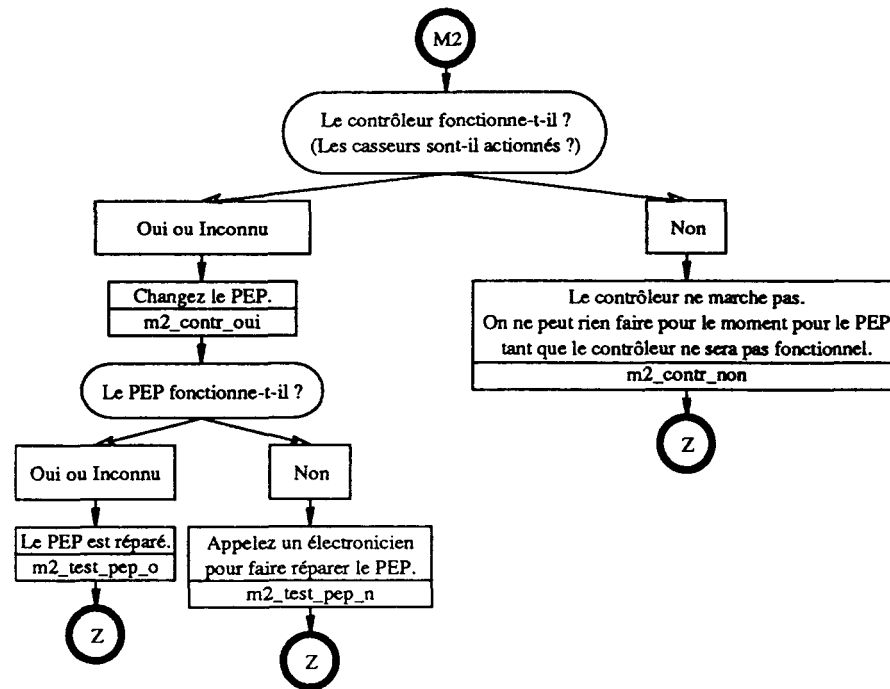


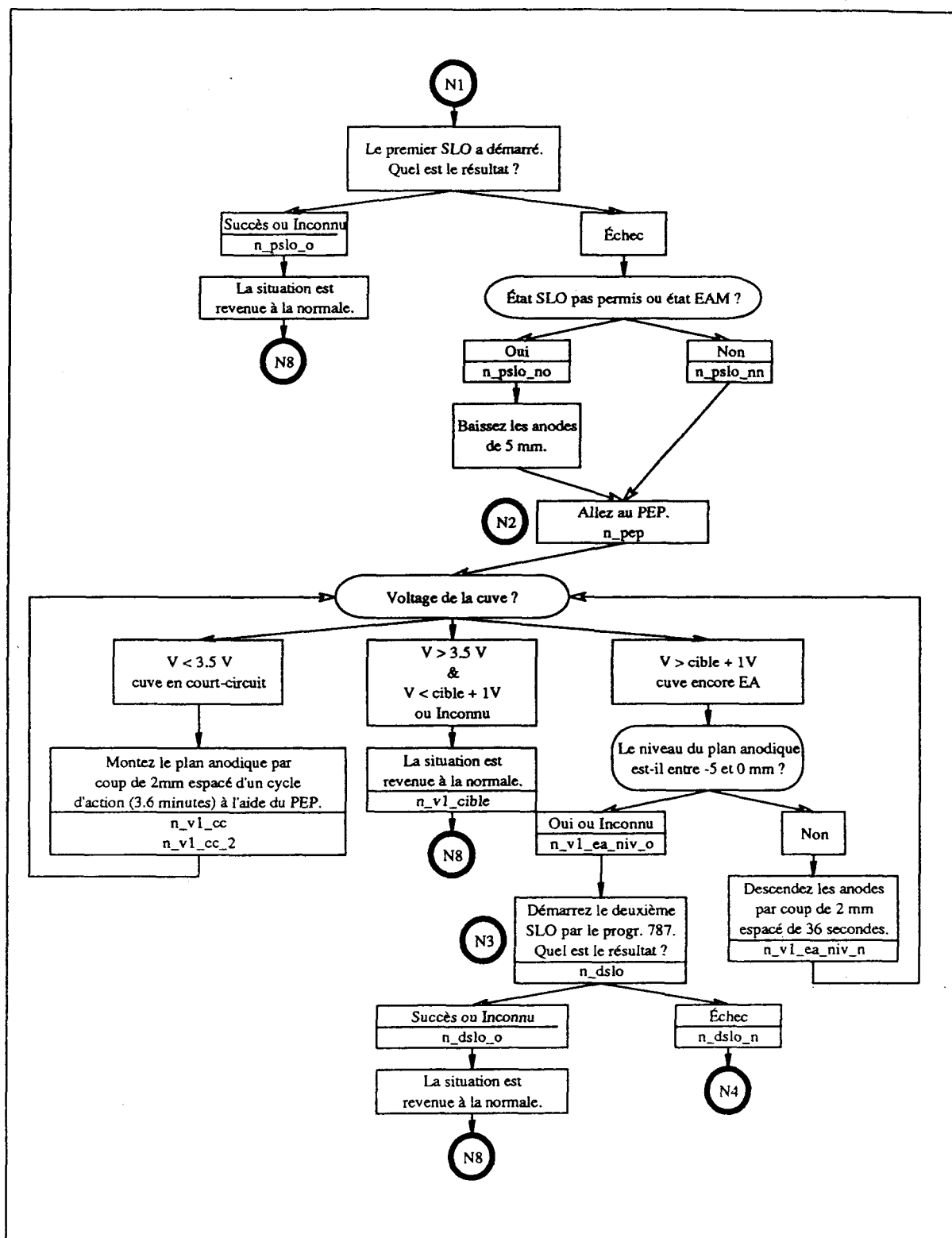


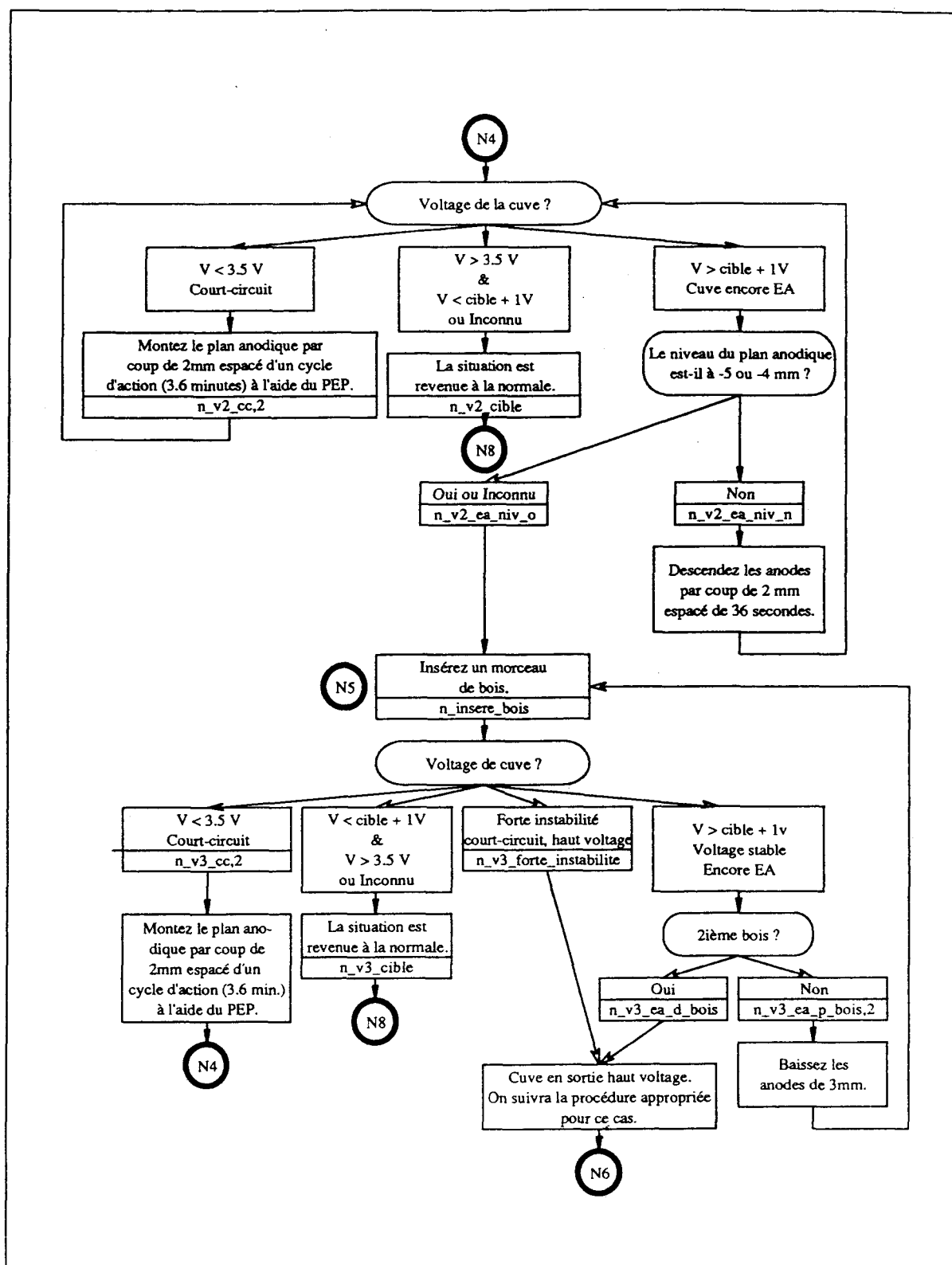


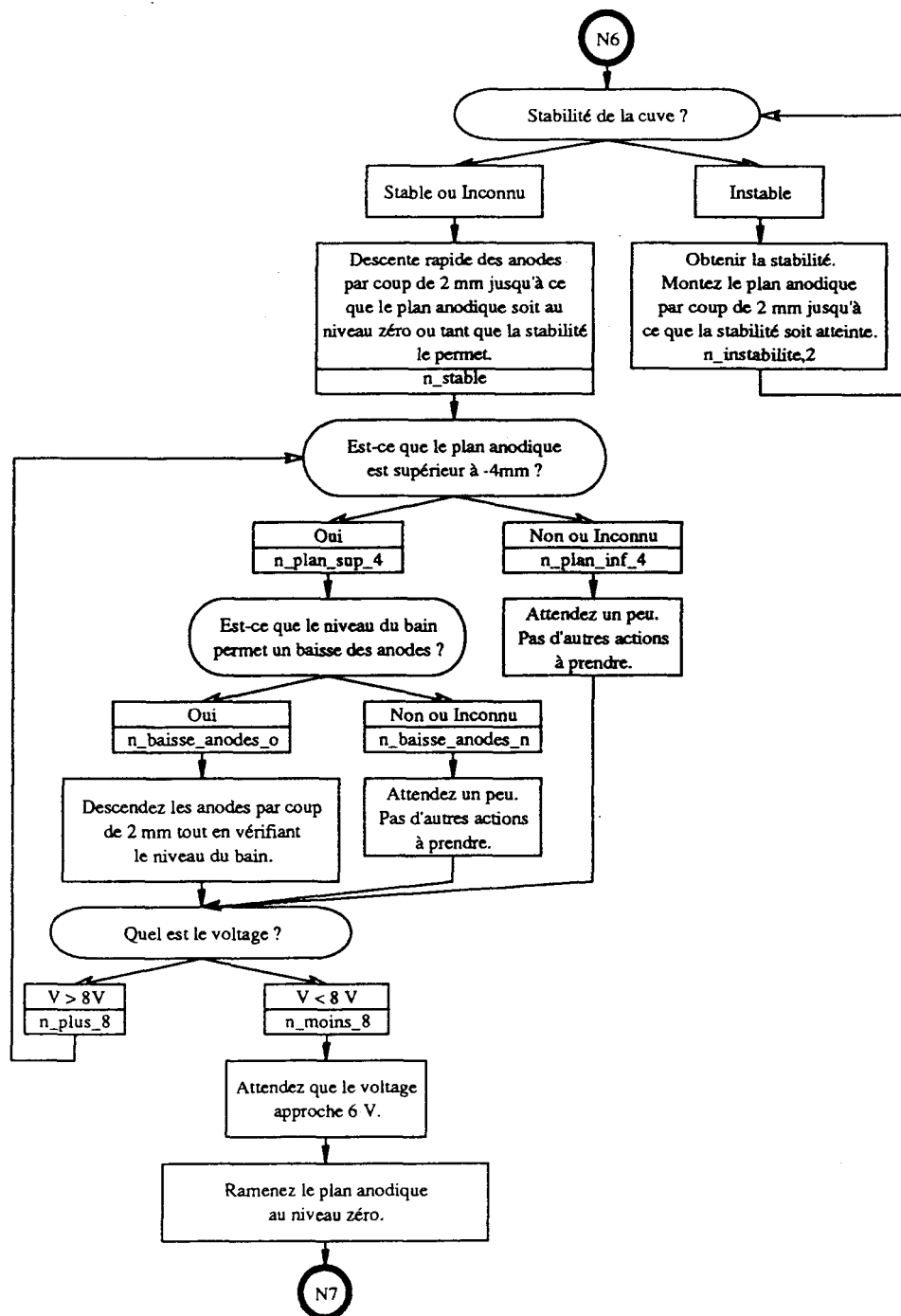


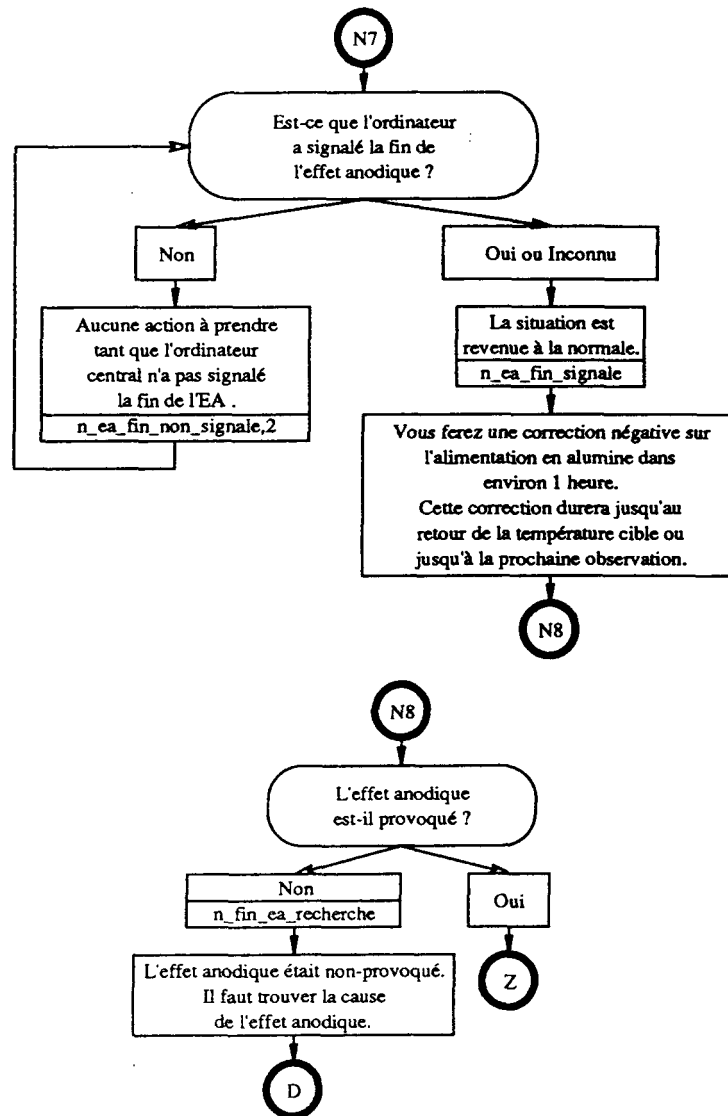


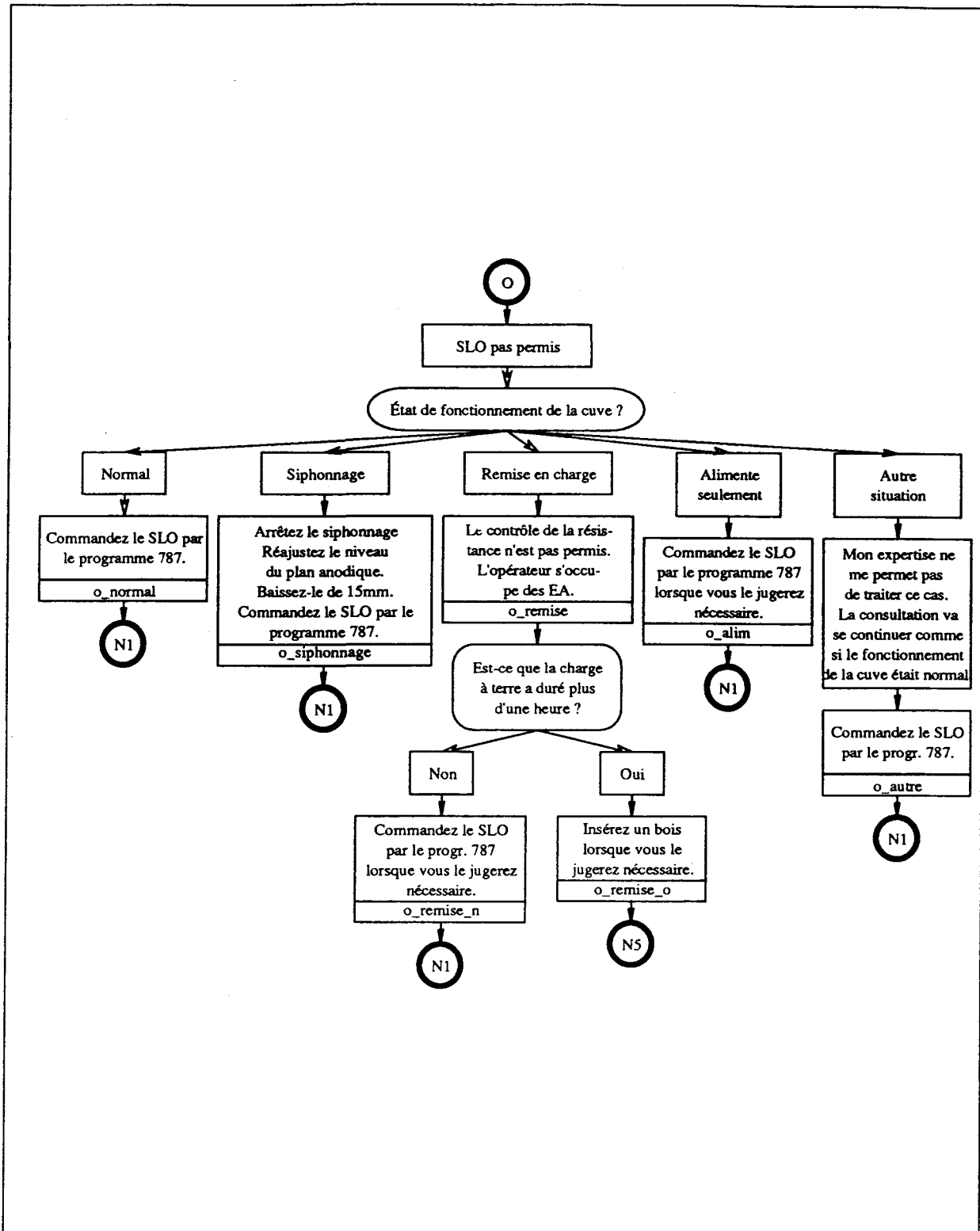


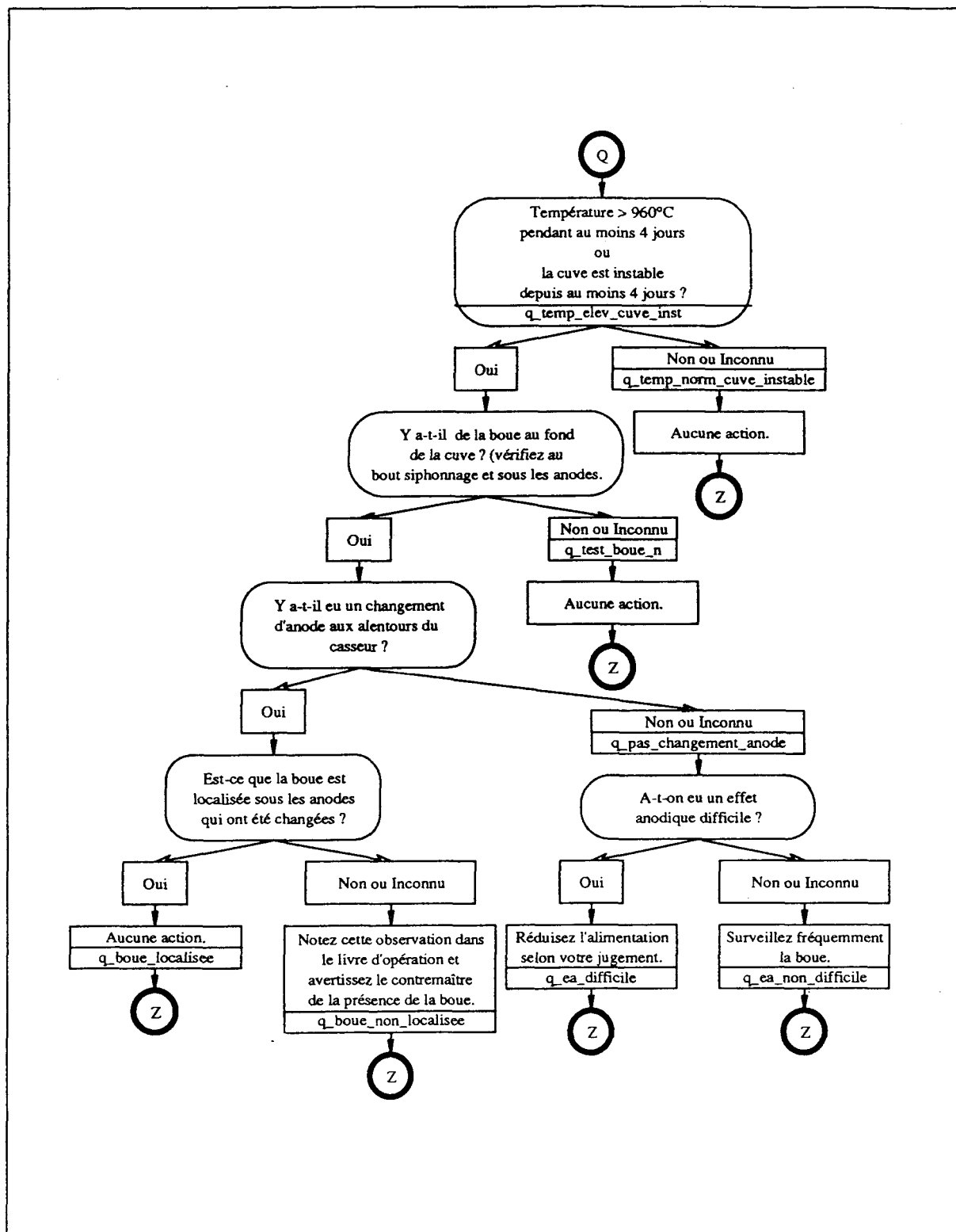


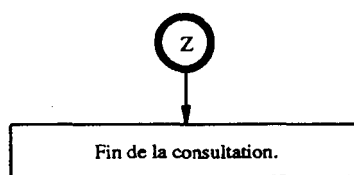












ANNEXE 3

Base de connaissances

Résumé

Cette annexe présente la base de connaissances développée avec la coquille Comdale/X. Celle-ci contient l'expertise acquise à l'aide d'entrevues que l'on peut retrouver en annexe 1 et la symbolise sous forme de règles.

```

Class
@name = systeme_alimentation
@object = filtre, pression
endClass

```

```

Class
@name = aeroglissiere
@object = aero_cuve, aero_ext
@superClass = systeme_alimentation
endClass

```

```

Class
@name = alimentateur
@object = alim
@superClass = systeme_alimentation
@private = a4.test, frapper.doseur
@public = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float
endClass

```

```

Class
@name = alimentateur1
@object = alimentateur11, alimentateur12,
alimentateur13, alimentateur14
@superClass = alimentateur
@private = poids_ecart.@float,
poids_moy.@float
@public = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float
endClass

```

```

Class
@name = alimentateur2
@object = alimentateur21, alimentateur22,
alimentateur23, alimentateur24
@superClass = alimentateur
@private = poids_ecart.@float,
poids_moy.@float
@public = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float
endClass

```

```

Class
@name = alimentateur3
@object = alimentateur31, alimentateur32,
alimentateur33, alimentateur34
@superClass = alimentateur
@private = poids_ecart.@float,
poids_moy.@float
@public = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float
endClass

```

```

Class
@name = alimentateur4
@object = alimentateur41, alimentateur42,
alimentateur43, alimentateur44
@superClass = alimentateur
@private = poids_ecart.@float,
poids_moy.@float
@public = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float
endClass

```

```

Class
@name = test_donnees
@object = a1, b, c, d1, d_ins, g1, generale, m1
endClass

```

```

Class
@name = alimentateur_test
@object = alimentateur11, alimentateur22,
alimentateur33, alimentateur44
@superClass = test_donnees
@private = etat.probleme
endClass

```

```

Class
@name = alumine
@object = alumine, boue, echantillons
@superClass = systeme_alimentation
endClass

```

```

Class
@name = casseurs
@object = casseur
@superClass = systeme_alimentation
endClass

```

```

Class
@name = classe_alarme
@object = controleur, effet_anodique, inc_SLO,
ordi_central, petit_silo, pression
@private = etat.alarme
endClass

```

```

Class
@name = cuve
@object = anodes, bain, cuve, voltage
endClass

```

```

Class
@name = inspection
@object = alim, casseur
@private = etat.inspection_visuelle
endClass

```

```

Class
@name = interface_generale
@object = alarme, boue, echantillons,
inspection_visuelle
@private = etat.probleme
endClass

```

```

Class
@name = ordinateur
@object = controleur, ordi_central, PEP, valise
endClass

```

```

Class
@name = reservoir
@object = petit_silo, reservoir_fluoree, tremie
@superClass = systeme_alimentation
endClass

```

```

Object
@name = a1
@class = test_donnees
@attribute = test.donnees
endObject

```

```

Object
@name = a2
@attribute = test.donnees
endObject

```

```

Object
@name = aero_cuve
@class = aeroglissiere
@attribute = pression.air, test.alumine,
transport.alumine
endObject

```

```

Object
@name = aero_ext
@class = aeroglissiere
@attribute = presence.alumine, test.alumine
endObject

```

```

Object
@name = alarme
@class = interface_generale

```

```

@attribute = classification.niveau_2,
etat.probleme, test.donnees
endObject

```

```

Object
@name = alim
@class = alimentateur, inspection
@attribute = a4.test, etat.connu,
etat.inspection_visuelle,
etat.probleme, frapper.doseur,
poids.@float
endObject

```

```

Object
@name = alimentateur11
@class = alimentateur1, alimentateur_test
@attribute = alumine.test, alumine.tombe,
alumine.tombe2,
annee.@integer, compteur.@integer,
compteur1.@integer,
date.@date, etat.connu, etat.probleme,
injection.air, injection.air2,
nbr_jours.@integer,
poids.@float, poids_ecart.@float,
poids_moy.@float,
suite.trois
endObject

```

```

Object
@name = alimentateur12
@class = alimentateur1
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject

```

```

Object
@name = alimentateur13
@class = alimentateur1
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject

```

```

Object
@name = alimentateur14
@class = alimentateur1
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject

```

```

Object
@name = alimentateur21
@class = alimentateur2
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject

```

```

Object
@name = alimentateur22
@class = alimentateur2, alimentateur_test
@attribute = alumine.test, alumine.tombe,
alumine.tombe2,
annee.@integer, compteur.@integer,
compteur1.@integer,
date.@date, etat.connu, etat.probleme,
injection.air, injection.air2,
nbr_jours.@integer,
poids.@float, poids_ecart.@float,
poids_moy.@float,
suite.deux, suite.trois, suite.un
endObject

```

```

Object
@name = alimentateur23

```



```
@class = alimentateur2
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur24
@class = alimentateur2
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur31
@class = alimentateur3
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur32
@class = alimentateur3
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur33
@class = alimentateur3, alimentateur_test
@attribute = alumine.test, alumine.tombe,
alumine.tombe2,
annee.@integer, compteur.@integer,
compteur1.@integer,
date.@date, etat.connu, etat.probleme,
injection.air, injection.air2,
nbr_jours.@integer,
poids.@float, poids_ecart.@float,
poids_moy.@float,
suite.deux, suite.trois, suite.un
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur34
@class = alimentateur3
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur41
@class = alimentateur4
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur42
@class = alimentateur4
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur43
@class = alimentateur4
@attribute = etat.connu, etat.probleme,
poids.@float,
poids_ecart.@float, poids_moy.@float
endObject
```

```
Object
@name = alimentateur44
@class = alimentateur4, alimentateur_test
@attribute = alumine.test, alumine.tombe,
alumine.tombe2,
annee.@integer, compteur.@integer,
compteur1.@integer,
date.@date, etat.connu, etat.probleme,
injection.air, injection.air2,
nbr_jours.@integer,
poids.@float, poids_ecart.@float,
poids_moy.@float,
suite.deux, suite.trois, suite.un
endObject
```

```
Object
@name = alumine
@class = alumine
@attribute = ecoulement.tres_faible,
granulometrie.sup_1, granulometrie.test
endObject
```

```
Object
@name = anodes
@class = cuve
@attribute = changement.autour_casseur,
changer.d_12_heures
endObject
```

```
Object
@name = b
@class = test_donnees
@attribute = test.donnees
endObject
```

```
Object
@name = bain
@class = cuve
@attribute = alf3.commande, alf3.deversement,
alf3.tremie_obstruee,
alf3.tremie_vide, eclaboussures.fortes,
niveau.@float,
niveau2.@float, ratio.eleve,
temperature.@float
endObject
```

```
Object
@name = boue
@class = alumine, interface_generale
@attribute = changement.aucun,
classification.niveau_2, etat.probleme,
localisee.sous_anodes_changees,
presence.fond_cuve, soupconne.presence
endObject
```

```
Object
@name = c
@class = test_donnees
@attribute = test.donnees
endObject
```

```
Object
@name = casseur
@class = casseurs, inspection
@attribute = bouillonnement.alumine,
couleur.rouge, etat.inspection_visuelle,
flamme.visible, pression.air,
pression.@float,
test.trou_bloque, troisieme.verification,
trou.bloque,
usure.avancee
endObject
```

```
Object
@name = charge_a_terre
@attribute = duree.plus_1_heure, test.duree
endObject
```

```
Object
@name = classification
@attribute = deuxieme.EA,
deuxieme.inspection, premier.niveau,
si_probl.ordi_central
endObject
```

```
Object
@name = controleur
@class = ordinateur, classe_alarme
@attribute = casseurs.fonctionnent,
changement.fait, en_panne.@integer,
etat.alarme, etat.changer,
etat.fonctionnement,
etat.fonctionnement_2, etat.traitement,
fin.chainage,
p457.a_jour
endObject
```

```
Object
@name = cuve
@class = cuve
@attribute = instable.longtemps, presence.EA,
temperature_elevee.longtemps
endObject
```

```
Object
@name = d1
@class = test_donnees
@attribute = test.donnees
endObject
```

```
Object
@name = d_ins
@class = test_donnees
@attribute = test.donnees
endObject
```

```
Object
@name = date_aujourd'hui
@attribute = annee.@integer, date.@date
endObject
```

```
Object
@name = echantillons
@class = alumine, interface_generale
@attribute = classification.niveau_2,
etat.probleme
endObject
```

```
Object
@name = effet_anodique
@class = classe_alarme
@attribute = aller.pep, attente.fin, bois.deux,
bois.essai, bois.nombre, bois.resultat,
d_slo.test, demarrer.d_slo, etat.actions,
etat.alarme, etat.connu, etat.fin,
etat.manuel, etat.provoque,
etat.provoque_2,
etat.sortie_haut_voltage, etat.traitement,
inspection.autre_situation,
inspection.l_alimentation_est_normale,
inspection.test,
inspection.un_alimentateur_ne_fonctionne_pas,
inspection.un_trou_est_bloque,
mouvement.permis, niv_bain.baisse,
niv_plan.mcinq_quatre,
niv_plan.mcinq_zero, niv_plan.sup_4,
niveau.plan_zero, niveau.plan.test,
ordi.signale_fin,
precedent.difficile, resultat.d_slo,
resultat.p_slo,
slo.commande_manuel, slo.permis,
slo.premis_2,
stabilite.cuve, stabilite.deux,
stabilite.voltage,
```

```

    stabilite.voltage_2, stable.suite, test.fin,
    test.voltage, test.voltage_2,
test.voltage_4,
    traitement.eam, traitement.pas_de_slo,
v1.deux,
    v2.deux, v3.deux, voltage.court_circuit,
    voltage.encore_effet_anodique,
voltage.moins_de_8_V, voltage.plus_de_8_V,
    voltage.voltage_normal,
voltage_3.court_circuit,
    voltage_3.encore_effet_anodique,
    voltage_3.forte_instabilite,
voltage_3.voltage_normal
endObject

```

```

Object
@name = filtre
@class = systeme_alimentation
@attribute = contient.alumine
endObject

```

```

Object
@name = fonctionnement
@attribute = cuve.alimente_seulement,
cuve.autre_situation, cuve.normal,
    cuve.remise_en_charge,
cuve.siphonnage
endObject

```

```

Object
@name = g1
@class = test_donnees
@attribute = test.donnees, test.donnees2
endObject

```

```

Object
@name = generale
@class = test_donnees
@attribute = test.donnees
endObject

```

```

Object
@name = inc_SLO
@class = classe_alarme
@attribute = etat.alarme, etat.traitement
endObject

```

```

Object
@name = inspection_visuelle
@class = interface_generale
@attribute = classification.niveau_2,
etat.probleme
endObject

```

```

Object
@name = lampe
@attribute = rouge.allumee, rouge.sur_le_mur
endObject

```

```

Object
@name = m1
@class = test_donnees
@attribute = test.donnees
endObject

```

```

Object
@name = meta
@attribute = classification.niveau_1
endObject

```

```

Object
@name = ordi_central
@class = ordinateur, classe_alarme
@attribute = classification.probleme,
encore.en_probleme, encore.en_probleme2,
    etat.alarme, etat.en_panne,
etat.traitement,

```

```

inspection_visuelle.cuve,
interruption.longue_duree, probleme.corrige,
    rearmocer.fonctionne,
rearmocer.ne_fonctionne_pas,
    verification.criteres,
    verification.manuelle,
verification.manuelle_2
endObject

```

```

Object
@name = PEP
@class = ordinateur
@attribute = a.changer, analyse.suite,
    changement.fait,
    compteur.@integer,
en_panne.@integer, etat.fonctionnement,
    etat.fonctionnement_2,
fonctionnement.connu, test.fonctionnement,
    test.fonctionnement_2, test.resultat
endObject

```

```

Object
@name = petit_silo
@class = reservoir, classe_alarme
@attribute = alumine.entree,
    alumine.niveau_normal, etat.alarme,
    etat.niveau_normal, etat.traitement,
niveau.plein,
    test.entree
endObject

```

```

Object
@name = pression
@class = systeme_alimentation, classe_alarme
@attribute = air.manometre,
    demarrage.deuxieme_compresseur, etat.alarme,
    etat.traitement
endObject

```

```

Object
@name = reservoir_fluoree
@class = reservoir
@attribute = niveau.vide
endObject

```

```

Object
@name = tremie
@class = reservoir
@attribute = alumine.vide, etat.remplissage
endObject

```

```

Object
@name = trou
@attribute = bloque.cause, bloque.plusieurs,
    pas_bloque.cinq,
    pas_bloque.deux, pas_bloque.quatre,
    pas_bloque.six,
    pas_bloque.trois, pas_bloque.un
endObject

```

```

Object
@name = valise
@class = ordinateur
@attribute = etat.fonctionne, test.fonctionne
endObject

```

```

Object
@name = verification
@attribute = etat.connu,
    etat.inspection_visuelle,
    etat.lampe_blanche_allumee,
    etat.lampe_rouge_allumee,
    etat.les_casseurs_sont_actionnees,
    etat.PEP_fonctionne,
    etat.tout_est_normal, etat2.connu,
    etat3.connu,
    etat4.connu, etat5.connu

```

```
endObject
```

```

Object
@name = voltage
@class = cuve
@attribute = etat.eleve
endObject

```

```

Procedure
@name = proc_initiale
@do =
    IMPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt",
    0.000000, 100.000000 )
    IMPORT ("c:\comdale\se\donnees.txt",
    0.000000, 100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt",
    "ordi_central.encore.en_probleme", 0.000000,
    100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt+",
    "alimentateur11.date.@dt", 0.000000,
    100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt+",
    "alimentateur11.compteur.@i", 0.000000,
    100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt+",
    "alimentateur22.date.@dt", 0.000000,
    100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt+",
    "alimentateur22.compteur.@i", 0.000000,
    100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt+",
    "alimentateur33.date.@dt", 0.000000,
    100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt+",
    "alimentateur33.compteur.@i", 0.000000,
    100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt+",
    "alimentateur44.date.@dt", 0.000000,
    100.000000 )
    EXPORT ("c:\comdale\se\souvenir.txt+",
    "alimentateur44.compteur.@i", 0.000000,
    100.000000 )
    alimentateur11.compteur1.@integer =
    alimentateur11.compteur.@integer
    alimentateur22.compteur1.@integer =
    alimentateur22.compteur.@integer
    alimentateur33.compteur1.@integer =
    alimentateur33.compteur.@integer
    alimentateur44.compteur1.@integer =
    alimentateur44.compteur.@integer
    FORGET ("alimentateur11.compteur.@integer"
    )
    FORGET ("alimentateur22.compteur.@integer"
    )
    FORGET ("alimentateur33.compteur.@integer"
    )
    FORGET ("alimentateur44.compteur.@integer"
    )
    alimentateur11.annee.@integer = YEAR (
    alimentateur11.date.@date )
    alimentateur22.annee.@integer = YEAR (
    alimentateur22.date.@date )
    alimentateur33.annee.@integer = YEAR (
    alimentateur33.date.@date )
    alimentateur44.annee.@integer = YEAR (
    alimentateur44.date.@date )
    date_aujourd'hui.annee.@integer = YEAR (
    $Current_date )
    ordi_central.encore.en_probleme2 =
    ordi_central.encore.en_probleme
    RUN_PROCEDURE ("proc_initiale_2")
endProcedure

```

```

Procedure
@name = proc_initiale_2
@do =

```

TEXT ("Vous devez répondre à toutes les questions soit en cliquant sur OUI ou NON, en entrant la valeur demandée ou en cliquant sur le choix correspondant à la situation décrite.

Si vous cliquez sur OK, la réponse correspondante sera OUI.

Le système expert ne garantit pas les résultats si vous choisissez l'option UNKNOWN ou inscrivez une valeur d'incertitude.

Le système expert ne produit pas d'explication, les touches EXPLAIN et WHY ne sont pas accessibles.", * * * ATTENTION * * *)
endProcedure

Procedure
@name = procedure_fin
@do =
TEXT ("C'est la fin de la consultation.")
REDO ()
endProcedure

Question
@name = Prob_ordi_central_corrige
@userlevel = 1
@do = ASK ("Le système expert se souvient que l'ordinateur central est en panne.

Est-ce que l'ordinateur central fonctionne maintenant ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = alumine_tombe_1
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que l'alumine tombe maintenant normalement de l'alimentateur 1?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = alumine_tombe_2
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que l'alumine tombe maintenant normalement de l'alimentateur 2?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = alumine_tombe_3
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que l'alumine tombe maintenant normalement de l'alimentateur 3?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = alumine_tombe_4
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que l'alumine tombe maintenant normalement de l'alimentateur 4?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = anodes_autour_casseur
@userlevel = 1
@do = ASK ("Y a-t-il eu un changement d'anode aux alentours du casseur 1 ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = b_ratio_alumine_tombe

@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que la commande d'AIF3 a fonctionné ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = b_ratio_tremie_bloque
@userlevel = 1
@do = ASK ("L'addition de l'AIF3 ne s'est pas faite pour une des deux raisons suivantes.

Indiquez la raison.", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = boue_localisee
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que la boue est localisée sous les anodes qui ont été changées ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = boue_presence_fond
@userlevel = 1
@do = ASK ("Y a-t-il de la boue au fond de la cuve ?

(Vérifiez au bout du siphonnage et sous les anodes.)", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = controleur_prog_457
@userlevel = 1
@do = ASK ("Vérifiez si le contrôleur fonctionne par le programme 457.

Le contrôleur fonctionne s'il est à jour.

Est-ce que le contrôleur fonctionne?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = cuve_instable_longtemps
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que la cuve est instable depuis au moins 4 jours ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = d_slo_resultat
@userlevel = 1
@do = ASK ("Le deuxième SLO est démarré.

Est-ce que le deuxième SLO a permis l'extinction de l'effet anodique ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = duree_charge_a_terre
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que la charge à terre a duré plus d'une heure ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_baisse_anodes
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que le niveau du bain permet une baisse des anodes ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_difficile
@userlevel = 1

@do = ASK ("A-t-on eu dernièrement un effet anodique difficile ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_ordi_fin
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que l'ordinateur a signalé la fin de l'effet anodique ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_q_inspection
@userlevel = 1
@do = ASK ("Faites une inspection visuelle sur la cuve.

Que remarquez-vous ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_q_niveau
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que le niveau du plan anodique est à zéro ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_q_provoque
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que l'effet anodique est provoqué ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_q_slo
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que le SLO est permis ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_q_slo_permis
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que le SLO est permis ?

Vous pouvez le vérifier par 2 moyens:

Si vous entendez le bruit des engrenages des suspensions d'anodes qui fonctionnent sur la cuve
ou
si, en consultant le PEP, la densité de courant est très déséquilibrée.", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_q_stabilite
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que la cuve est stable ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = ea_stabilite
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que la cuve est stable ?", \$OAV)
endQuestion

Question
@name = eam
@userlevel = 1
@do = ASK ("Est-ce que l'effet anodique est manuel (EAM) ?", \$OAV)
endQuestion

```

Question
@name = ecoulement_faible
@userlevel = 1
@do = ASK ( "L'écoulement d'alumine des
alimentateurs est-il très faible ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = fonctionnement_PEP
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que le PEP fonctionne ?",
$OAV )
endQuestion

Question
@name = fonctionnement_controleur
@userlevel = 1
@do = ASK ( "À l'aide du PEP, est-ce que le
contrôleur fonctionne ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = fonctionnement_cuve
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Quel est l'état de fonctionnement
de la cuve ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = granulometrie_alumine
@userlevel = 1
@do = ASK ( "On doit vérifier la granulométrie
de l'alumine.

Est-ce que la quantité de particules inférieures à
20 µm est supérieure à 1 % ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = interruption_longue_duree
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que l'arrêt de l'ordinateur
central
s'annonce de longue durée ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = m2_pep_fonctionne
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Le PEP fonctionne-t-il ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = m2_test_controleur
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Le contrôleur fonctionne-t-il ?

Pour le savoir, vérifiez si les casseurs sont
actionnés ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = n_niv_plan
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que le niveau du
plan anodique est supérieur à -4 mm?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = niv_plan_1
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Le niveau du plan anodique est-il
entre -5 et 0 mm ?", $OAV )
endQuestion

Question

```

```

@name = niv_plan_2
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Le niveau du plan anodique est-il
à -5 ou à -4 mm ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = niveau_alumine_petit_silo
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Vous devez aller vérifier le
niveau
d'alumine dans le petit silo.

Le niveau d'alumine dans le petit silo est-il
normal ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = ordi_central_rearmorer_fonctionne
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que l'ordinateur central
fonctionne à nouveau ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = p_slo_resultat
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Le premier SLO est démarré.

Est-ce que le premier SLO a permis
l'extinction de l'effet anodique ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = petit_silo_alumine_entre
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que l'alumine entre dans
le petit silo ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = pression
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Vérifiez les deux compresseurs.
Essayez de démarrer le deuxième compresseur
pour rétablir la pression.

Est-ce que le deuxième compresseur fonctionne
?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = temp_elevee_longtemps
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que la température est
supérieure à 960°C
depuis au moins 4 jours ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = tremie_vide
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que la trémie de la cuve
est vide ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = trou_bloque
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Y a-t-il deux trous bloqués ou
plus dans la cuve ?", $OAV )
endQuestion

Question
@name = valise_fonctionnement
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que la valise fonctionne ?

```

Pour le savoir, regardez si les casseurs sont actionnés.", \$OAV)
endQuestion

```

Question
@name = voltage_4
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Le voltage a-t-il :", $OAV )
endQuestion

```

```

Question
@name = voltage_cuve
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Indiquez dans quelle gamme le
voltage de la cuve se trouve.

```

```

Voltage < 3.5 V -----> court-circuit
Voltage > 3.5 V ----->
et -----> voltage_normal
Voltage < cible + 1 V ___/
Voltage > cible + 1 V ----->
encore_effet_anodique", $OAV )
endQuestion

```

```

Question
@name = voltage_cuve_3
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Indiquez dans quelle gamme le
voltage de la cuve se trouve.

```

```

Voltage < 3.5 V -----> court-circuit
Voltage > 3.5 V ----->
et -----> voltage_normal
Voltage < cible + 1 V ___/
Voltage > cible + 1 V ----->
encore_effet_anodique
Voltage passant de haut
voltage à court-circuit. -----> forte_instabilite",
$OAV )
endQuestion

```

```

Question
@name = voltage_eleve
@userlevel = 1
@do = ASK ( "Est-ce que le voltage de la cuve
est
supérieur à la cible + 2 volts ?", $OAV )
endQuestion

```

```

Datasource
@name = poids_ecart_1
@classinherit =
{alimentateur1}.poids_ecart.@float =
CLASSSTDDEV ( {alimentateur1}.poids.@float
)
endDatasource

```

```

Datasource
@name = poids_ecart_2
@classinherit =
{alimentateur2}.poids_ecart.@float =
CLASSSTDDEV ( {alimentateur2}.poids.@float
)
endDatasource

```

```

Datasource
@name = poids_ecart_3
@classinherit =
{alimentateur3}.poids_ecart.@float =
CLASSSTDDEV ( {alimentateur3}.poids.@float
)
endDatasource

```

```

Datasource
@name = poids_ecart_4

```

```
@classinherit =
{alimentateur4}.poids_ecart.@float =
CLASSSTDDEV ( {alimentateur4}.poids.@float
)
endDatasource
```

```
Datasource
@name = poids_moy_1
@classinherit =
{alimentateur1}.poids_moy.@float =
CLASSAVG ( {alimentateur1}.poids.@float )
endDatasource
```

```
Datasource
@name = poids_moy_2
@classinherit =
{alimentateur2}.poids_moy.@float =
CLASSAVG ( {alimentateur2}.poids.@float )
endDatasource
```

```
Datasource
@name = poids_moy_3
@classinherit =
{alimentateur3}.poids_moy.@float =
CLASSAVG ( {alimentateur3}.poids.@float )
endDatasource
```

```
Datasource
@name = poids_moy_4
@classinherit =
{alimentateur4}.poids_moy.@float =
CLASSAVG ( {alimentateur4}.poids.@float )
endDatasource
```

```
Exclusive
@name = b_ratio
@state = tremie_obstruee, tremie_vider
endExclusive
```

```
Exclusive
@name = ea_inspection
@state = l_alimentation_est_normale,
un_alimentateur_ne_fonctionne_pas,
un_trou_est_bloque,
autre_situation
endExclusive
```

```
Exclusive
@name = fonctionnement_cuve
@state = normal, siphonnage,
remise_en_charge,
alimente_seulement, autre_situation
endExclusive
```

```
Exclusive
@name = voltage_3
@state = court_circuit, voltage_normal,
forte_instabilite,
encore_effet_anodique
endExclusive
```

```
Exclusive
@name = voltage_4
@state = moins_de_8_V, plus_de_8_V
endExclusive
```

```
Exclusive
@name = voltage_cuve
@state = court_circuit, voltage_normal,
encore_effet_anodique
endExclusive
```

```
Rule
@name = a0_cont_1
IF PEP.etat.fonctionnement is FALSE
AND controleur.p457.a_jour is FALSE
AND controleur.en_panne.@integer == 1
```

```
THEN TEXT ( "Changez le contrôleur.
```

```
Pressez sur O.K. lorsque le changement sera
fait." )
THEN controleur.etat.changer is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = a0_cont_2
IF PEP.etat.fonctionnement is FALSE
AND controleur.p457.a_jour is FALSE
AND controleur.en_panne.@integer == 2
THEN TEXT ( "Le contrôleur et le PEP ne
fonctionne pas.
```

```
Appelez un électronicien." )
endRule
```

```
Rule
@name = a0_cont_resul_non
IF controleur.changement.fait
AND PEP.etat.fonctionnement_2 is FALSE
THEN controleur.en_panne.@integer = 2
THEN FREERULE ( $AllPrem,
"PEP.etat.fonctionnement" )
THEN FORGET ( "controleur.p457.a_jour" )
THEN APPLYRULE ( "PEP.etat.fonctionnement"
)
endRule
```

```
Rule
@name = a0_cont_resul_oui
IF controleur.changement.fait
AND PEP.etat.fonctionnement_2
OR controleur.changement.fait
AND UNKNOWN ( PEP.etat.fonctionnement_2 )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

```
La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN TEXT ( "Actionnez l'aéroglossière de la
cuve par le PEP." )
THEN aero_cuve.test.alumine is TRUE
THEN TEXT ( "Répondez aux questions
suivantes qui sont écrites sur papier et ensuite
entrez les réponses dans le système expert." )
THEN FORM ( "c:\comdale\se\se1.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\se1.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\se1.frm" )
THEN a1.test.donnees is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = a0_PEP_1
IF PEP.etat.fonctionnement is FALSE
AND controleur.p457.a_jour
AND PEP.en_panne.@integer == 1
OR PEP.etat.fonctionnement is FALSE
AND UNKNOWN ( controleur.p457.a_jour )
AND PEP.en_panne.@integer == 1
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

```
La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN TEXT ( "Changez le PEP.
```

```
Pressez sur O.K. lorsque le changement sera
fait." )
THEN PEP.changement.fait is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = a0_PEP_2
IF PEP.etat.fonctionnement is FALSE
AND controleur.p457.a_jour
AND PEP.en_panne.@integer == 2
THEN TEXT ( "Le PEP ne fonctionne pas.
```

```
Appelez un électronicien." )
endRule
```

```
Rule
@name = a0_PEP_fonctionne
IF PEP.etat.fonctionnement
THEN aero_cuve.test.alumine is TRUE
THEN TEXT ( "Répondez aux questions
suivantes qui sont écrites sur papier et ensuite
entrez les réponses dans le système expert." )
THEN FORM ( "c:\comdale\se\se1.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\se1.frm" )
THEN a1.test.donnees is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = a0_PEP_resul_non
IF PEP.changement.fait
AND PEP.etat.fonctionnement_2 is FALSE
THEN PEP.en_panne.@integer = 2
THEN FREERULE ( $AllPrem,
"PEP.etat.fonctionnement" )
THEN FORGET ( "controleur.p457.a_jour" )
THEN APPLYRULE ( "PEP.etat.fonctionnement"
)
endRule
```

```
Rule
@name = a0_PEP_resul_oui
IF PEP.changement.fait
AND PEP.etat.fonctionnement_2
OR PEP.changement.fait
AND UNKNOWN ( PEP.etat.fonctionnement_2 )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

```
La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN TEXT ( "Actionnez l'aéroglossière de la
cuve par le PEP." )
THEN aero_cuve.test.alumine is TRUE
THEN TEXT ( "Répondez aux questions
suivantes qui sont écrites sur papier et ensuite
entrez les réponses dans le système expert." )
THEN FORM ( "c:\comdale\se\se1.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\se1.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\se1.frm" )
THEN a1.test.donnees is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = a0_test_pep_n
IF PEP.test.fonctionnement
AND PEP.test.resultat is FALSE
THEN PEP.etat.fonctionnement is FALSE
THEN controleur.en_panne.@integer = 1
THEN PEP.en_panne.@integer = 1
endRule
```

```
Rule
@name = a0_test_pep_o
IF PEP.test.fonctionnement
AND PEP.test.resultat
OR PEP.test.fonctionnement
AND UNKNOWN ( PEP.test.resultat )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

```
La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN PEP.etat.fonctionnement is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = a1_lampe_r_n
IF aero_cuve.test.alumine
AND aero_cuve.transport.alumine is FALSE
```

```

AND aero_cuve.pression.air is FALSE
AND pression.air.manometre
AND lampe.rouge.sur_le_mur is FALSE
THEN TEXT ( "Appelez un électricien pour
faire
vérifier la sonde de niveau d'alumine
situé dans la trémie #3 et
la sortie opto du contrôleur.

```

```

Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\se\la4.bmp" )
endRule

```

```

Rule
@name = a1_lampe_r_o
IF aero_cuve.test.alumine
AND aero_cuve.transport.alumine is FALSE
AND aero_cuve.pression.air is FALSE
AND pression.air.manometre
AND lampe.rouge.sur_le_mur
THEN TEXT ( "C'est la valve solénoïde qui
contrôle l'entrée
d'air comprimé dans l'aéroglossière de la cuve
qui fait défaut.

```

```

Appelez un mécanicien pour la faire réparer." )
endRule

```

```

Rule
@name = a1_pression_n
IF aero_cuve.test.alumine
AND aero_cuve.transport.alumine is FALSE
AND aero_cuve.pression.air is FALSE
AND pression.air.manometre is FALSE
THEN TEXT ( "Il n'y a pas assez de pression
d'air.

```

```

Un compresseur fait défaut." )
THEN pression.etat.traitement is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_silo_plein
IF aero_cuve.test.alumine
AND aero_cuve.transport.alumine is FALSE
AND aero_cuve.pression.air
AND petit_silo.niveau.plein
THEN TEXT ( "Il y a un engorgement d'alumine
entre le petit silo et l'aéroglossière de la cuve.

```

Éliminez ce blocage.

```

Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\se\la2.bmp" )
endRule

```

```

Rule
@name = a1_silo_vide
IF aero_cuve.test.alumine
AND aero_cuve.transport.alumine is FALSE
AND aero_cuve.pression.air
AND petit_silo.niveau.plein is FALSE
THEN aero_ext.test.alumine is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees10
@priority = 6
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( lampe.rouge.sur_le_mur )
THEN lampe.rouge.sur_le_mur is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees11
@priority = 6
IF a1.test.donnees

```

```

AND NOTKNOWN (
reservoir_fluoree.niveau.vide )
THEN reservoir_fluoree.niveau.vide is FALSE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees2
@priority = 10
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( lampe.rouge.sur_le_mur )
OR a1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
reservoir_fluoree.niveau.vide )
OR a1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
aero_cuve.transport.alumine )
OR a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( aero_cuve.pression.air )
OR a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( tremie.etat.remplissage )
OR a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( pression.air.manometre )
OR a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( petit_silo.niveau.plein )
OR a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( aero_ext.presence.alumine )
OR a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( filtre.contient.alumine )
THEN TEXT ( "Certaines réponses sont
manquantes.

```

Mon expertise n'est pas suffisante pour pouvoir conclure correctement avec un manque d'information.

Le moteur d'inférence va tout de même essayer de trouver une conclusion avec ces données et des valeurs par défaut.

Dans la mesure du possible, répondez à TOUTES les questions.")

```

Rule
@name = a1_test_donnees3
@priority = 9
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
aero_cuve.transport.alumine )
THEN aero_cuve.transport.alumine is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees4
@priority = 8
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( aero_cuve.pression.air )
THEN aero_cuve.pression.air is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees5
@priority = 7
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( tremie.etat.remplissage )
THEN tremie.etat.remplissage is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees6
@priority = 6
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( pression.air.manometre )
THEN pression.air.manometre is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees7
@priority = 6
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( petit_silo.niveau.plein )
THEN petit_silo.niveau.plein is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees8
@priority = 6
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( aero_ext.presence.alumine )
THEN aero_ext.presence.alumine is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_test_donnees9
@priority = 6
IF a1.test.donnees
AND NOTKNOWN ( filtre.contient.alumine )
THEN filtre.contient.alumine is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = a1_tremies_n
IF aero_cuve.test.alumine
AND aero_cuve.transport.alumine
AND tremie.etat.remplissage is FALSE
THEN TEXT ( "Il y a une obstruction entre
l'aéroglossière
de la cuve et les trémies.

```

Éliminez cette obstruction.

```

Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\se\la1.bmp" )
endRule

```

```

Rule
@name = a1_tremies_o
IF aero_cuve.test.alumine
AND aero_cuve.transport.alumine
AND tremie.etat.remplissage
THEN TEXT ( "La trémie de cuve était vide et
elle est
maintenant en train de se remplir.
Le système automatique aurait dû éviter ce
problème.
On soupçonne donc que le problème soit
intermittent.

```

Vérifiez l'ensemble du système d'alimentation en alumine.

```

Appelez un électricien pour vérifier
la sonde de niveau d'alumine dans la trémie #3."
)
endRule

```

```

Rule
@name = a2_ext_alum
IF aero_ext.test.alumine
AND aero_ext.presence.alumine
THEN TEXT ( "Vérifiez la jonction entre le petit
silo et
l'aéroglossière extérieure pour voir où il y a un
blocage.

```

```

Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\se\la3.bmp" )
endRule

```

```

Rule
@name = a2_filtre

```

```
IF aero_ext.test.alumine
AND aero_ext.presence.alumine is FALSE
AND filtre.contient.alumine
THEN TEXT ( "Il y a un problème à l'intérieur du
filtre.
```

Alimentez la cuve à partir d'alumine fraîche.

Appelez un mécanicien pour faire inspecter la fluidisation du filtre.

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\se\sa5.bmp" )
endRule
```

```
Rule
@name = a2_reservoir_plein
IF aero_ext.test.alumine
AND aero_ext.presence.alumine is FALSE
AND filtre.contient.alumine is FALSE
AND reservoir_floree.niveau.vide is FALSE
THEN TEXT ( "Il y a un problème à la jonction
entre le réservoir d'alumine fluorée et le filtre.
```

Vérifiez cet endroit.

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\se\sa7.bmp" )
endRule
```

```
Rule
@name = a2_reservoir_vide
IF aero_ext.test.alumine
AND aero_ext.presence.alumine is FALSE
AND filtre.contient.alumine is FALSE
AND reservoir_floree.niveau.vide
THEN TEXT ( "Le réservoir d'alumine fluorée est
supposé
contenir de l'alumine fluorée.
```

Alimentez la cuve à partir d'alumine fraîche.

Appelez un électronicien pour faire inspecter la sonde de niveau du réservoir d'alumine fluorée.

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\se\sa6.bmp" )
endRule
```

```
Rule
@name = a2_test_donnees2
@priority = 10
IF a2.test.donnees
AND NOTKNOWN ( aero_ext.presence.alumine )
OR a2.test.donnees
AND NOTKNOWN ( filtre.contient.alumine )
OR a2.test.donnees
AND NOTKNOWN (
reservoir_floree.niveau.vide )
THEN TEXT ( "Certaines réponses sont
manquantes.
```

Mon expertise n'est pas suffisante pour pouvoir conclure correctement avec un manque d'information.

Le moteur d'inférence va tout de même essayer de trouver une conclusion avec ces données et des valeurs par défaut.

```
Dans la mesure du possible, répondez à
TOUTES les questions." )
endRule
```

```
Rule
@name = a2_test_donnees3
@priority = 6
IF a2.test.donnees
AND NOTKNOWN ( aero_ext.presence.alumine )
THEN aero_ext.presence.alumine is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = a2_test_donnees4
@priority = 6
IF a2.test.donnees
AND NOTKNOWN ( filtre.contient.alumine )
THEN filtre.contient.alumine is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = a2_test_donnees5
@priority = 6
IF a2.test.donnees
AND NOTKNOWN (
reservoir_floree.niveau.vide )
THEN reservoir_floree.niveau.vide is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_analyse_trou_fin
IF trou.pas_bloque.un
AND trou.pas_bloque.deux
AND trou.pas_bloque.trois
AND trou.pas_bloque.quatre
AND trou.pas_bloque.cinq
AND trou.pas_bloque.six
THEN TEXT ( "D'après les informations que
vous avez fournies,
le trou de casseur n'est pas bloqué.
```

Recommencez une nouvelle consultation si vous avez de nouvelles informations ou de nouvelles données.")

```
Rule
@name = b_anodes_non
IF trou.bloque.cause
AND anodes.changer.d_12_heures is FALSE
THEN trou.pas_bloque.cinq is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = b_anodes_oui
IF trou.bloque.cause
AND anodes.changer.d_12_heures
THEN TEXT ( "Il y a eu un changement
d'anodes récemment.
```

Enlevez le surplus d'alumine sur le trou.

```
Fermez ce casseur au tableau de contrôle." )
THEN trou.pas_bloque.cinq is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_eclab_non
IF trou.bloque.cause
AND bain.eclaboussures.fortes is FALSE
THEN trou.pas_bloque.deux is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = b_eclab_oui
IF trou.bloque.cause
AND bain.eclaboussures.fortes is TRUE
THEN TEXT ( "Il y a de fortes éclaboussures de
bain.
```

Agrandissez la distance entre l'anode et la cathode (DAC).

Faites un traitement de voltage de + 50 mV pour une durée de 4 à 6 heures.

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\se\sb1.bmp" )
THEN trou.pas_bloque.deux is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_i13_i945_1t
IF trou.bloque.cause
AND bain.niveau.@float <= 13.000000
AND bain.temperature.@float < 945
AND trou.bloque.plusieurs is FALSE
THEN TEXT ( "Donnez le traitement de voltage
le plus haut possible." )
THEN trou.pas_bloque.un is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_i13_i945_2t
IF trou.bloque.cause
AND bain.niveau.@float <= 13.000000
AND bain.temperature.@float < 945
AND trou.bloque.plusieurs
THEN TEXT ( "Faire un effet anodique manuel
(EAM) pour réchauffer
la cuve et permettre la fabrication de bain liquide
dans la cuve." )
THEN trou.pas_bloque.un is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_i13_s945
IF trou.bloque.cause
AND bain.niveau.@float <= 13.000000
AND bain.temperature.@float >= 945
THEN TEXT ( "Faites un traitement de voltage
de + 200mV.
Ajoutez fréquemment du bain en petites
quantités
pour faciliter sa dissolution." )
THEN trou.pas_bloque.un is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_i16_i945
IF trou.bloque.cause
AND bain.niveau.@float < 16.000000
AND bain.niveau.@float > 13.000000
AND bain.temperature.@float <= 945.000000
THEN TEXT ( "Ajoutez fréquemment du bain en
petites quantités
pour faciliter sa dissolution.
```

```
Faites un traitement de voltage de + 200 mV
pour 12 heures." )
THEN trou.pas_bloque.un is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_i16_i950
IF trou.bloque.cause
AND bain.niveau.@float < 16.000000
AND bain.niveau.@float > 13.000000
AND bain.temperature.@float <= 950.000000
AND bain.temperature.@float > 945.000000
THEN TEXT ( "Ajoutez fréquemment du bain en
petites quantités
pour faciliter sa dissolution.
```

```
Faites un traitement de voltage de + 100 mV
pour 12 heures." )
```

```
THEN trou.pas_bloque.un is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_i16_s950
IF trou.bloque.cause
AND bain.niveau.@float < 16.000000
AND bain.niveau.@float > 13.000000
AND bain.temperature.@float > 950.000000
THEN TEXT ( "Ajoutez fréquemment du bain en
petites quantités
pour faciliter sa dissolution." )
THEN trou.pas_bloque.un is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_i185
IF trou.bloque.cause
AND bain.niveau.@float >= 16.000000
AND bain.niveau.@float < 18.500000
THEN TEXT ( "Ajoutez fréquemment du bain en
petites quantités
pour faciliter sa dissolution." )
THEN trou.pas_bloque.un is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_pression_non
IF trou.bloque.cause
AND casseur.pression.air is FALSE
THEN TEXT ( "La pression d'air est trop faible.
```

```
Le casseur n'a pas la force nécessaire
pour briser la croûte." )
THEN pression.etat.traitement is TRUE
THEN APPLYRULE ( "pression.etat.traitement" )
THEN trou.pas_bloque.trois is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_pression_oui
IF trou.bloque.cause
AND casseur.pression.air
THEN trou.pas_bloque.trois is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = b_ratio_eleve
IF trou.bloque.cause
AND bain.ratio.eleve
THEN TEXT ( "Actionnez le programme manuel
TROU B au PEP.
```

```
Inscrivez dans le livre d'opération que
le ratio est élevé.
```

```
Vérifiez l'alimentation de l'AIF3.
```

```
Commandez au PEP une addition de fluor." )
THEN bain.alf3.commande is TRUE
THEN trou.pas_bloque.six is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_ratio_normal
IF trou.bloque.cause
AND bain.ratio.eleve is FALSE
THEN trou.pas_bloque.six is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = b_ratio_obstruee
IF bain.alf3.commande
AND bain.alf3.deversement is FALSE
AND bain.alf3.tremie_obstruee
THEN TEXT ( "Faites réparer la trémie d'AIF3." )
endRule
```

```
Rule
@name = b_ratio_oui
IF bain.alf3.commande
AND bain.alf3.deversement
THEN TEXT ( "Le ratio évolue lentement.
```

```
Il n'y a pas d'autres actions à prendre pour le
moment." )
endRule
```

```
Rule
@name = b_ratio_vide
IF bain.alf3.commande
AND bain.alf3.deversement is FALSE
AND bain.alf3.tremie_vide
THEN TEXT ( "Faites remplir la trémie d'AIF3." )
endRule
```

```
Rule
@name = b_s185
IF trou.bloque.cause
AND bain.niveau.@float > 18.500000
THEN trou.pas_bloque.un is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = b_test_donnees10
@priority = 45
IF b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( bain.ratio.eleve )
THEN bain.ratio.eleve is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_test_donnees2
@priority = 80
IF b.test.donnees
AND UNKNOWN ( bain.niveau.@float )
OR b.test.donnees
AND UNKNOWN ( bain.temperature.@float )
OR b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( bain.eclaboussures.fortes )
OR b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( casseur.pression.air )
OR b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( casseur.usure.avancee )
OR b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( anodes.changer.d_12_heures )
OR b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( bain.ratio.eleve )
THEN TEXT ( "Certaines réponses sont
manquantes.
```

```
Mon expertise n'est pas suffisante pour pouvoir
conclure correctement avec un manque
d'information.
```

```
Le moteur d'inférence va tout de même essayer
de
trouver une conclusion avec ces données et
des valeurs par défaut.
```

```
Dans la mesure du possible, répondez à
TOUTES les questions." )
endRule
```

```
Rule
@name = b_test_donnees3
@priority = 75
IF b.test.donnees
AND UNKNOWN ( bain.niveau.@float )
THEN bain.niveau.@float is 20.000000
endRule
```

```
Rule
```

```
@name = b_test_donnees4
@priority = 70
IF b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( bain.temperature.@float )
THEN bain.temperature.@float is 955.000000
endRule
```

```
Rule
@name = b_test_donnees6
@priority = 65
IF b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( bain.eclaboussures.fortes )
THEN bain.eclaboussures.fortes is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_test_donnees7
@priority = 60
IF b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( casseur.pression.air )
THEN casseur.pression.air is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = b_test_donnees8
@priority = 55
IF b.test.donnees
AND NOTKNOWN ( casseur.usure.avancee )
THEN casseur.usure.avancee is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_test_donnees9
@priority = 50
IF b.test.donnees
AND NOTKNOWN (
anodes.changer.d_12_heures )
THEN anodes.changer.d_12_heures is FALSE
endRule
```

```
Rule
@name = b_trou_bloque
IF casseur.trou.bloque
THEN TEXT ( "Travaillez à partir du PEP.
```

```
Essayez de débloquent manuellement le trou
en actionnant plusieurs fois le casseur." )
THEN TEXT ( "Répondez aux questions
suivantes qui sont écrites sur papier et ensuite
entrez les réponses dans le système expert." )
THEN FORM ( "c:\comdale\se\b.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\gwbasic.exe
c:\comdale\se\b.bas" )
THEN trou.bloque.cause is TRUE
THEN b.test.donnees is TRUE
THEN APPLYRULE ( "b.test.donnees" )
endRule
```

```
Rule
@name = b_usu_faible
IF trou.bloque.cause
AND casseur.usure.avancee is FALSE
THEN trou.pas_bloque.quatre is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = b_usu_niv_non
IF trou.bloque.cause
AND casseur.usure.avancee
AND bain.niveau.@float >= 16.000000
OR trou.bloque.cause
AND casseur.usure.avancee
AND bain.temperature.@float >= 945.000000
THEN TEXT ( "La pointe d'un casseur est usée.
```

```
Fermez le casseur au tableau de contrôle.
```


Inscrivez dans le livre d'opération qu'un casseur est usé.

Appelez un mécanicien pour faire changer la pointe du casseur.")
THEN trou.pas_bloque.quatre is FALSE
endRule

```
Rule
@name = b_usu_niv_oui
IF trou.bloque.cause
AND casseur.usure.avancee
AND bain.niveau.@float < 16.000000
AND bain.temperature.@float < 945.000000
THEN TEXT ( "La pointe d'un casseur est usée.
```

Actionnez le programme TROU B.

Inscrivez dans le livre d'opération qu'un casseur est usé.

Appelez un mécanicien pour faire changer la pointe du casseur.")
THEN trou.pas_bloque.quatre is FALSE
endRule

```
Rule
@name = c_bouillonnement
IF casseur.troisieme.verification
AND casseur.bouillonnement.alumine
THEN TEXT ( "Le trou du casseur n'est pas bloqué." )
endRule
```

```
Rule
@name = c_couleur
IF casseur.test.trou_bloque
AND casseur.flamme.visible is FALSE
AND casseur.couleur.rouge
THEN TEXT ( "Le trou du casseur n'est pas bloqué." )
endRule
```

```
Rule
@name = c_flamme
IF casseur.test.trou_bloque
AND casseur.flamme.visible
THEN TEXT ( "Le trou du casseur n'est pas bloqué." )
endRule
```

```
Rule
@name = c_pas_bouillonnement
IF casseur.troisieme.verification
AND casseur.bouillonnement.alumine is FALSE
THEN TEXT ( "Le trou du casseur est bloqué." )
THEN casseur.trou.bloque is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = c_pas_couleur
IF casseur.test.trou_bloque
AND casseur.flamme.visible is FALSE
AND casseur.couleur.rouge is FALSE
THEN TEXT ( "Vérifier la tendance à la hausse de la résistance de la cuve." )
THEN casseur.troisieme.verification is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = c_test_donnees2
@priority = 10
IF c.test.donnees
AND NOTKNOWN ( casseur.flamme.visible )
OR c.test.donnees
AND NOTKNOWN ( casseur.couleur.rouge )
OR c.test.donnees
```

```
AND NOTKNOWN (
casseur.bouillonnement.alumine )
THEN TEXT ( "Certaines réponses sont manquantes.
```

Mon expertise n'est pas suffisante pour pouvoir conclure correctement avec un manque d'information.

Le moteur d'inférence va tout de même essayer de trouver une conclusion avec ces données et des valeurs par défaut.

Dans la mesure du possible, répondez à TOUTES les questions.")
endRule

```
Rule
@name = c_test_donnees3
@priority = 9
IF c.test.donnees
AND NOTKNOWN ( casseur.flamme.visible )
THEN casseur.flamme.visible is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = c_test_donnees4
@priority = 8
IF c.test.donnees
AND NOTKNOWN ( casseur.couleur.rouge )
THEN casseur.couleur.rouge is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = c_test_donnees5
@priority = 7
IF c.test.donnees
AND NOTKNOWN (
casseur.bouillonnement.alumine )
THEN casseur.bouillonnement.alumine is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = c_test_trou_bloque
IF inspection_visuelle.classification.niveau_2
AND casseur.etat.inspection_visuelle
THEN TEXT ( "Répondez aux questions suivantes qui sont écrites sur papier et ensuite entrez les réponses dans le système expert." )
THEN FORM ( "c:\comdale\se\c.frmt" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\lgwbasic.exe c:\comdale\se\c.bas" )
THEN casseur.test.trou_bloque is TRUE
THEN c.test.donnees is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d1_alim_111
IF alim.frapper.doseur
AND alimentateur11.etat.probleme
AND alimentateur11.annee.@integer == date_aujourd'hui.annee.@integer
THEN alimentateur11.nbr_jours.@integer = YEARDAY ( date_aujourd'hui.date.@date ) - YEARDAY ( alimentateur11.date.@date )
endRule
```

```
Rule
@name = d1_alim_1111
IF alim.frapper.doseur
AND alimentateur11.etat.probleme
AND alimentateur11.annee.@integer == ( date_aujourd'hui.annee.@integer - 1 )
THEN alimentateur11.nbr_jours.@integer = YEARDAY ( date_aujourd'hui.date.@date ) - YEARDAY ( alimentateur11.date.@date ) + 365
```

endRule

```
Rule
@name = d1_alim_112
IF alimentateur11.nbr_jours.@integer <= 3
THEN alimentateur11.compteur.@integer = alimentateur11.compteur1.@integer + 1
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+", "alimentateur11.compteur.@i", 0.000000, 100.000000 )
THEN alimentateur11.alumine.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d1_alim_113
IF alimentateur11.nbr_jours.@integer > 3
THEN alimentateur11.compteur.@integer = 1
THEN alimentateur11.date.@date is $Current_date
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+", "alimentateur11.date.@dt", 0.000000, 100.000000 )
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+", "alimentateur11.compteur.@i", 0.000000, 100.000000 )
THEN alimentateur11.alumine.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d1_alum_prise
IF alimentateur11.alumine.test
AND alimentateur11.alumine.tombe is FALSE
THEN TEXT ( "Vérifiez la pression d'air et la valve solénoïde qui contrôle l'entrée de l'air comprimé dans l'alimentateur 1.
```

Appelez un mécanicien.

Fermez l'alimentateur 1 au tableau de contrôle en attendant l'arrivée du mécanicien.")
THEN alimentateur11.injection.air is TRUE
endRule

```
Rule
@name = d1_alum_prise_1
IF alimentateur11.injection.air
AND alimentateur11.compteur.@integer <= 2
THEN TEXT ( "Faites injecter de l'air dans l'alimentateur 1.
```

Le schéma suivant montre où est le problème.")
THEN PAINT ("c:\comdale\se\di1.bmp")
THEN alimentateur11.injection.air2 is TRUE
endRule

```
Rule
@name = d1_alum_prise_3
IF alimentateur11.injection.air
AND alimentateur11.compteur.@integer > 2
THEN TEXT ( "Faites vider la trémie de l'alimentateur 1.
```

Le schéma suivant montre où est le problème.")
THEN PAINT ("c:\comdale\se\di1v1.bmp")
endRule

```
Rule
@name = d1_alum_prise_prise
IF alimentateur11.injection.air2
AND alimentateur11.alumine.tombe2 is FALSE
THEN TEXT ( "Faites vider la trémie de l'alimentateur 1.
```

Le schéma suivant montre où est le problème.")
THEN PAINT ("c:\comdale\se\di1v1.bmp")
endRule

```

Rule
@name = d1_alum_prise_tombe
IF alimentateur11.injection.air2
AND alimentateur11.alumine.tombe2
OR alimentateur11.injection.air2
AND UNKNOWN (
alimentateur11.alumine.tombe2 )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Le problème est réglé pour le moment.

Faites une vérification plus fréquente sur l'alimentateur 1.")
 THEN alim.a4.test is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = d1_alum_tombe_1
IF alimentateur11.alumine.test
AND alimentateur11.alumine.tombe
AND alimentateur11.compteur.@integer == 1
OR alimentateur11.alumine.test
AND UNKNOWN (
alimentateur11.alumine.tombe )
AND alimentateur11.compteur.@integer == 1
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Pas d'action à prendre immédiatement.
 L'alimentateur est maintenant débloqué.

Faites une vérification plus fréquente sur l'alimentateur 1.")
 THEN alim.a4.test is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = d1_alum_tombe_2
IF alimentateur11.alumine.test
AND alimentateur11.alumine.tombe
AND alimentateur11.compteur.@integer >= 2
OR alimentateur11.alumine.test
AND UNKNOWN (
alimentateur11.alumine.tombe )
AND alimentateur11.compteur.@integer >= 2
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Appelez un mécanicien.
 Faites injecter de l'air dans l'alimentateur 1.

Faites une vérification plus fréquente de l'alimentateur 1.

Le schéma suivant montre où est le problème.")
 THEN PAINT ("c:\comdale\se\di1.bmp")
 THEN alim.a4.test is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = d1_test_donnees
@priority = 20
IF d1.test.donnees
AND ?donnees = ANY ( NOTKNOWN (
{alimentateur_test}.etat.probleme ) )
THEN ALL ( ?donnees.etat.probleme is FALSE )
endRule

```

```

Rule
@name = d2_alim_221

```

```

IF alim.frappier.doseur
AND alimentateur22.etat.probleme
AND alimentateur22.annee.@integer ==
date_aujourd'hui.annee.@integer
THEN alimentateur22.nbr_jours.@integer =
YEARDAY ( date_aujourd'hui.date.@date ) -
YEARDAY ( alimentateur22.date.@date )
endRule

```

```

Rule
@name = d2_alim_2211
IF alim.frappier.doseur
AND alimentateur22.etat.probleme
AND alimentateur22.annee.@integer == (
date_aujourd'hui.annee.@integer - 1 )
THEN alimentateur22.nbr_jours.@integer =
YEARDAY ( date_aujourd'hui.date.@date ) -
YEARDAY ( alimentateur22.date.@date ) + 365
endRule

```

```

Rule
@name = d2_alim_222
IF alimentateur22.nbr_jours.@integer <= 3
THEN alimentateur22.compteur.@integer =
alimentateur22.compteur1.@integer + 1
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+",
"alimentateur22.compteur.@i", 0.000000,
100.000000 )
THEN alimentateur22.alumine.test is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = d2_alim_223
IF alimentateur22.nbr_jours.@integer > 3
THEN alimentateur22.compteur.@integer = 1
THEN alimentateur22.date.@date is
$Current_date
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+",
"alimentateur22.date.@d", 0.000000,
100.000000 )
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+",
"alimentateur22.compteur.@i", 0.000000,
100.000000 )
THEN alimentateur22.alumine.test is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = d2_alum_prise
IF alimentateur22.alumine.test
AND alimentateur22.alumine.tombe is FALSE
THEN TEXT ( "Vérifiez la pression d'air et la
valve solénoïde
qui contrôle l'entrée de l'air comprimé dans
l'alimentateur 2.

```

Appelez un mécanicien.

Fermez l'alimentateur 2 au tableau de contrôle en attendant l'arrivée du mécanicien.")
 THEN alimentateur22.injection.air is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = d2_alum_prise_1
IF alimentateur22.injection.air
AND alimentateur22.compteur.@integer <= 2
THEN TEXT ( "Faites injecter de l'air dans
l'alimentateur 2.

```

Le schéma suivant montre où est le problème.")
 THEN PAINT ("c:\comdale\se\di2.bmp")
 THEN alimentateur22.injection.air2 is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = d2_alum_prise_3
IF alimentateur22.injection.air

```

```

AND alimentateur22.compteur.@integer > 2
THEN TEXT ( "Faites vider la trémie de
l'alimentateur 2.

```

Le schéma suivant montre où est le problème.")
 THEN PAINT ("c:\comdale\se\dv2.bmp")
 endRule

```

Rule
@name = d2_alum_prise_prise
IF alimentateur22.injection.air2
AND alimentateur22.alumine.tombe2 is FALSE
THEN TEXT ( "Faites vider la trémie de
l'alimentateur 2.

```

Le schéma suivant montre où est le problème.")
 THEN PAINT ("c:\comdale\se\dv2.bmp")
 endRule

```

Rule
@name = d2_alum_prise_tombe
IF alimentateur22.injection.air2
AND alimentateur22.alumine.tombe2
OR alimentateur22.injection.air2
AND UNKNOWN (
alimentateur22.alumine.tombe2 )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Le problème est réglé pour le moment.

Faites une vérification plus fréquente sur l'alimentateur 2.")
 THEN alim.a4.test is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = d2_alum_tombe_1
IF alimentateur22.alumine.test
AND alimentateur22.alumine.tombe
AND alimentateur22.compteur.@integer == 1
OR alimentateur22.alumine.test
AND UNKNOWN (
alimentateur22.alumine.tombe )
AND alimentateur22.compteur.@integer == 1
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Pas d'action à prendre immédiatement.
 L'alimentateur est maintenant débloqué.

Faites une vérification plus fréquente sur l'alimentateur 2.")
 THEN alim.a4.test is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = d2_alum_tombe_2
IF alimentateur22.alumine.test
AND alimentateur22.alumine.tombe
AND alimentateur22.compteur.@integer >= 2
OR alimentateur22.alumine.test
AND UNKNOWN (
alimentateur22.alumine.tombe )
AND alimentateur22.compteur.@integer >= 2
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Appelez un mécanicien.
 Faites injecter de l'air dans l'alimentateur 2.

Faites une vérification plus fréquente

de l'alimentateur 2.

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\seld2.bmp" )
THEN alim.a4.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alim_331
IF alim.frapper.doseur
AND alimentateur33.etat.probleme
AND alimentateur33.annee.@integer ==
date_aujourd'hui.annee.@integer
THEN alimentateur33.nbr_jours.@integer =
YEARDAY ( date_aujourd'hui.date.@date ) -
YEARDAY ( alimentateur33.date.@date )
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alim_3311
IF alim.frapper.doseur
AND alimentateur33.etat.probleme
AND alimentateur33.annee.@integer == (
date_aujourd'hui.annee.@integer - 1 )
THEN alimentateur33.nbr_jours.@integer =
YEARDAY ( date_aujourd'hui.date.@date ) -
YEARDAY ( alimentateur33.date.@date ) + 365
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alim_332
IF alimentateur33.nbr_jours.@integer <= 3
THEN alimentateur33.compteur.@integer =
alimentateur33.compteur1.@integer + 1
THEN EXPORT ( "c:\comdale\selsouvenir.txt+",
"alimentateur33.compteur.@i", 0.000000,
100.000000 )
THEN alimentateur33.alumine.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alim_333
IF alimentateur33.nbr_jours.@integer > 3
THEN alimentateur33.compteur.@integer = 1
THEN alimentateur33.date.@date is
$Current_date
THEN EXPORT ( "c:\comdale\selsouvenir.txt+",
"alimentateur33.date.@dt", 0.000000,
100.000000 )
THEN EXPORT ( "c:\comdale\selsouvenir.txt+",
"alimentateur33.compteur.@i", 0.000000,
100.000000 )
THEN alimentateur33.alumine.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alum_prise
IF alimentateur33.alumine.test
AND alimentateur33.alumine.tombe is FALSE
THEN TEXT ( "Vérifiez la pression d'air et la
valve solénoïde
qui contrôle l'entrée de l'air comprimé dans
l'alimentateur 3.
```

Appelez un mécanicien.

```
Fermez l'alimentateur 3 au tableau de contrôle
en attendant l'arrivée du mécanicien." )
THEN alimentateur33.injection.air is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alum_prise_1
IF alimentateur33.injection.air
AND alimentateur33.compteur.@integer <= 2
THEN TEXT ( "Faites injecter de l'air dans
l'alimentateur 3.
```

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\seld2.bmp" )
THEN alimentateur33.injection.air2 is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alum_prise_3
IF alimentateur33.injection.air
AND alimentateur33.compteur.@integer > 2
THEN TEXT ( "Faites vider la trémie de
l'alimentateur 3.
```

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\seldv2.bmp" )
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alum_prise_prise
IF alimentateur33.injection.air2
AND alimentateur33.alumine.tombe2 is FALSE
THEN TEXT ( "Faites vider la trémie de
l'alimentateur 3.
```

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\seldv2.bmp" )
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alum_prise_tombe
IF alimentateur33.injection.air2
AND alimentateur33.alumine.tombe2
OR alimentateur33.injection.air2
AND UNKNOWN (
alimentateur33.alumine.tombe2 )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

```
La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN TEXT ( "Le problème est réglé pour le
moment.
```

```
Faites une vérification plus fréquente
sur l'alimentateur 3." )
THEN alim.a4.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alum_tombe_1
IF alimentateur33.alumine.test
AND alimentateur33.alumine.tombe
AND alimentateur33.compteur.@integer == 1
OR alimentateur33.alumine.test
AND UNKNOWN (
alimentateur33.alumine.tombe )
AND alimentateur33.compteur.@integer == 1
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

```
La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN TEXT ( "Pas d'action à prendre
immédiatement.
L'alimentateur est maintenant débloqué.
```

```
Faites une vérification plus fréquente
sur l'alimentateur 3." )
THEN alim.a4.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d3_alum_tombe_2
IF alimentateur33.alumine.test
AND alimentateur33.alumine.tombe
AND alimentateur33.compteur.@integer >= 2
OR alimentateur33.alumine.test
AND UNKNOWN (
alimentateur33.alumine.tombe )
```

```
AND alimentateur33.compteur.@integer >= 2
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

```
La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN TEXT ( "Appelez un mécanicien.
Faites injecter de l'air dans l'alimentateur 3.
```

```
Faites une vérification plus fréquente
de l'alimentateur 3.
```

```
Le schéma suivant montre où est le problème." )
THEN PAINT ( "c:\comdale\seld2.bmp" )
THEN alim.a4.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d4_alim_441
IF alim.frapper.doseur
AND alimentateur44.etat.probleme
AND alimentateur44.annee.@integer ==
date_aujourd'hui.annee.@integer
THEN alimentateur44.nbr_jours.@integer =
YEARDAY ( date_aujourd'hui.date.@date ) -
YEARDAY ( alimentateur44.date.@date )
endRule
```

```
Rule
@name = d4_alim_4411
IF alim.frapper.doseur
AND alimentateur44.etat.probleme
AND alimentateur44.annee.@integer == (
date_aujourd'hui.annee.@integer - 1 )
THEN alimentateur44.nbr_jours.@integer =
YEARDAY ( date_aujourd'hui.date.@date ) -
YEARDAY ( alimentateur44.date.@date ) + 365
endRule
```

```
Rule
@name = d4_alim_442
IF alimentateur44.nbr_jours.@integer <= 3
THEN alimentateur44.compteur.@integer =
alimentateur44.compteur1.@integer + 1
THEN EXPORT ( "c:\comdale\selsouvenir.txt+",
"alimentateur44.compteur.@i", 0.000000,
100.000000 )
THEN alimentateur44.alumine.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d4_alim_443
IF alimentateur44.nbr_jours.@integer > 3
THEN alimentateur44.compteur.@integer = 1
THEN alimentateur44.date.@date is
$Current_date
THEN EXPORT ( "c:\comdale\selsouvenir.txt+",
"alimentateur44.date.@dt", 0.000000,
100.000000 )
THEN EXPORT ( "c:\comdale\selsouvenir.txt+",
"alimentateur44.compteur.@i", 0.000000,
100.000000 )
THEN alimentateur44.alumine.test is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = d4_alum_prise
IF alimentateur44.alumine.test
AND alimentateur44.alumine.tombe is FALSE
THEN TEXT ( "Vérifiez la pression d'air et la
valve solénoïde
qui contrôle l'entrée de l'air comprimé dans
l'alimentateur 4.
```

Appelez un mécanicien.

```
Fermez l'alimentateur 4 au tableau de contrôle
en attendant l'arrivée du mécanicien." )
```

THEN alimentateur44.injection.air is TRUE
endRule

Rule
@name = d4_alum_prise_1
IF alimentateur44.injection.air
AND alimentateur44.compteur.@integer <= 2
THEN TEXT ("Faites injecter de l'air dans
l'alimentateur 4.

Le schéma suivant montre où est le problème.")
THEN PAINT ("c:\comdale\seldi3.bmp")
THEN alimentateur44.injection.air2 is TRUE
endRule

Rule
@name = d4_alum_prise_3
IF alimentateur44.injection.air
AND alimentateur44.compteur.@integer > 2
THEN TEXT ("Faites vider la trémie de
l'alimentateur 4.

Le schéma suivant montre où est le problème.")
THEN PAINT ("c:\comdale\seldv3.bmp")
endRule

Rule
@name = d4_alum_prise_prise
IF alimentateur44.injection.air2
AND alimentateur44.alumine.tombe2 is FALSE
THEN TEXT ("Faites vider la trémie de
l'alimentateur 4.

Le schéma suivant montre où est le problème.")
THEN PAINT ("c:\comdale\seldv3.bmp")
endRule

Rule
@name = d4_alum_prise_tombe
IF alimentateur44.injection.air2
AND alimentateur44.alumine.tombe2
OR alimentateur44.injection.air2
AND UNKNOWN (alimentateur44.alumine.tombe2)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Le problème est réglé pour le
moment.

Faites une vérification plus fréquente
sur l'alimentateur 4.")
THEN alim.a4.test is TRUE
endRule

Rule
@name = d4_alum_tombe_1
IF alimentateur44.alumine.test
AND alimentateur44.alumine.tombe
AND alimentateur44.compteur.@integer == 1
OR alimentateur44.alumine.test
AND UNKNOWN (alimentateur44.alumine.tombe)
AND alimentateur44.compteur.@integer == 1
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Pas d'action à prendre
immédiatement.
L'alimentateur est maintenant débloqué.

Faites une vérification plus fréquente sur
l'alimentateur 4.")
THEN alim.a4.test is TRUE
endRule

Rule
@name = d4_alum_tombe_2
IF alimentateur44.alumine.test
AND alimentateur44.alumine.tombe
AND alimentateur44.compteur.@integer >= 2
OR alimentateur44.alumine.test
AND UNKNOWN (alimentateur44.alumine.tombe)
AND alimentateur44.compteur.@integer >= 2
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Appelez un mécanicien.
Faites injecter de l'air dans l'alimentateur 4.

Faites une vérification plus fréquente
de l'alimentateur 4.

Le schéma suivant montre où est le problème.")
THEN PAINT ("c:\comdale\seldi3.bmp")
THEN alim.a4.test is TRUE
endRule

Rule
@name = d_faible_tremie_pleine
IF inspection_visuelle.classification.niveau_2
AND alim.etat.inspection_visuelle
AND alumine.ecoulement.tres_faible
AND tremie.alumine.vide is FALSE
OR inspection_visuelle.classification.niveau_2
AND alim.etat.inspection_visuelle
AND alumine.ecoulement.tres_faible
AND UNKNOWN (tremie.alumine.vide)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine.

Répondez aux questions suivantes.")
THEN FORM ("c:\comdale\seld1.fm")
THEN date_aujourd'hui.date.@date is
\$Current_date
THEN TEXT ("Frappez sur le ou les
alimentateurs en défaut.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
THEN d1.test.donnees is TRUE
endRule

Rule
@name = d_faible_tremie_vide
IF inspection_visuelle.classification.niveau_2
AND alim.etat.inspection_visuelle
AND alumine.ecoulement.tres_faible
AND tremie.alumine.vide
THEN TEXT ("Actionnez l'aéroglossière de la
cuve par le PEP.")
THEN PEP.test.fonctionnement is TRUE
endRule

Rule
@name = d_gran_inf
IF alumine.granulometrie.test
AND alumine.granulometrie.sup_1 is FALSE
THEN TEXT ("Mon expertise ne me permet pas
de savoir
pourquoi les 4 alimentateurs ont le même
problème.

Attendez. Pas d'action immédiate.")
endRule

Rule
@name = d_gran_sup

IF alumine.granulometrie.test
AND alumine.granulometrie.sup_1
THEN TEXT ("Faites vider les trémies.

Les 4 alimentateurs sont en problème.

L'alumine contient trop de particules fines.")
endRule

Rule
@name = d_ins_ecoule_norm
IF inspection_visuelle.classification.niveau_2
AND alim.etat.inspection_visuelle
AND alumine.ecoulement.tres_faible is FALSE
OR inspection_visuelle.classification.niveau_2
AND alim.etat.inspection_visuelle
AND UNKNOWN (alumine.ecoulement.tres_faible)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
THEN TEXT ("L'alimentation est normale.

Aucune action à prendre pour le moment.")
endRule

Rule
@name = d_ins_pas_de_rep
IF inspection_visuelle.classification.niveau_2
AND alim.etat.inspection_visuelle is FALSE
AND casseur.etat.inspection_visuelle is FALSE
THEN TEXT ("Vous n'avez remarqué aucun
problème sur les alimentateurs ou sur les
trous de casseurs.

On considère donc la situation
comme étant normale.")
endRule

Rule
@name = d_ins_test_donnees
IF d_ins.test.donnees
AND ?donnees = ANY (NOTKNOWN (inspection).etat.inspection_visuelle))
THEN ALL (?donnees.etat.inspection_visuelle
is FALSE)
endRule

Rule
@name = d_test_4_alim
IF alim.a4.test
AND alimentateur11.etat.probleme
AND alimentateur22.etat.probleme
AND alimentateur33.etat.probleme
AND alimentateur44.etat.probleme
THEN alumine.granulometrie.test is TRUE
endRule

Rule
@name = e4_slo_n
IF classification.deuxieme.ea
AND effet_anodique.slo.premis_2 is FALSE
THEN effet_anodique.slo.commande_manuel is
TRUE
THEN effet_anodique.traitement.pas_de_slo is
TRUE
THEN effet_anodique.etat.provoque_2 is FALSE
THEN IGNORE (\$Rule, "n_fin_ea_recherche")
endRule

Rule
@name = e4_slo_o
IF classification.deuxieme.ea
AND effet_anodique.slo.premis_2
OR classification.deuxieme.ea

```

AND UNKNOWN ( effet_anodique.slo.premis_2
)
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN effet_anodique.slo.commande_manuel is FALSE
 THEN effet_anodique.inspection.test is TRUE
 THEN effet_anodique.etat.provoque_2 is FALSE
 THEN IGNORE (\$Rule, "n_fin_ea_recherche")
 endRule

```

Rule
@name = e_alim_defaut
IF effet_anodique.inspection.test
AND
effet_anodique.inspection.un_alimentateur_ne_fonctionne_pas
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur.

```

Actionnez la trappe manuelle sous les trémies.

Amenez l'alumine vers les trous.

Le schéma suivant montre où est le problème.")
 THEN PAINT ("c:\comdale\sele.bmp")
 THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = e_alim_norm
IF effet_anodique.inspection.test
AND
effet_anodique.inspection.l_alimentation_est_normale
THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = e_autre
IF effet_anodique.inspection.test
AND effet_anodique.inspection.autre_situation
THEN TEXT ( "Mon expertise ne me permet pas de traiter ce cas.

```

La consultation va se continuer comme si l'alimentation en alumine était normale.")
 THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = e_cuve_instable
@priority = 10
IF effet_anodique.traitement.eam
AND effet_anodique.stabilite.cuve is FALSE
THEN TEXT ( "Montez les anodes par coup de 2mm par cycle d'action.

```

Patiencez un peu avant de prendre d'autres actions.")
 THEN FREERULE (\$AllPrem, "effet_anodique.stabilite.deux")
 THEN effet_anodique.stabilite.deux is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = e_cuve_instable_2
IF effet_anodique.stabilite.deux
THEN FORGET ( "effet_anodique.stabilite.cuve" )
THEN FREERULE ( $AllPrem, "effet_anodique.traitement.eam" )
endRule

```

Rule

```

@name = e_cuve_stable
@priority = 10
IF effet_anodique.traitement.eam
AND effet_anodique.stabilite.cuve
OR effet_anodique.traitement.eam
AND UNKNOWN ( effet_anodique.stabilite.cuve )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Faites durer l'effet anodique manuel le temps que vous jugez nécessaire.

```

Quand ce sera terminé, cliquez sur O.K." )
THEN effet_anodique.niveau_plan.test is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = e_cuve_stable_n
IF effet_anodique.niveau_plan.test
AND effet_anodique.niveau.plan_zero is FALSE
THEN TEXT ( "Ramenez le plan anodique au niveau zéro et

```

```

déclenchez le SLO par le programme 787." )
THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = e_cuve_stable_o
IF effet_anodique.niveau_plan.test
AND effet_anodique.niveau.plan_zero
OR effet_anodique.niveau.plan.test
AND UNKNOWN ( effet_anodique.niveau.plan_zero )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Déclenchez le SLO par le programme 787.")
 THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = e_prov_eaa
IF effet_anodique.etat.traitement
AND effet_anodique.etat.provoque
AND effet_anodique.etat.manuel is FALSE
OR effet_anodique.etat.traitement
AND effet_anodique.etat.provoque
AND UNKNOWN ( effet_anodique.etat.manuel )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN effet_anodique.slo.commande_manuel is FALSE
 THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
 THEN effet_anodique.etat.provoque_2 is TRUE
 THEN IGNORE (\$Rule, "n_fin_ea_recherche")
 endRule

```

Rule
@name = e_prov_eam
IF effet_anodique.etat.traitement
AND effet_anodique.etat.provoque
AND effet_anodique.etat.manuel
THEN effet_anodique.slo.commande_manuel is TRUE
THEN effet_anodique.traitement.eam is TRUE
THEN effet_anodique.etat.provoque_2 is TRUE
THEN IGNORE ( $Rule, "n_fin_ea_recherche" )
endRule

```

Rule

```

@name = e_slo_pas_peris
IF effet_anodique.etat.traitement
AND effet_anodique.etat.provoque is FALSE
AND effet_anodique.slo.peris is FALSE
THEN effet_anodique.slo.commande_manuel is TRUE
THEN effet_anodique.traitement.pas_de_slo is TRUE
THEN effet_anodique.etat.provoque_2 is FALSE
THEN IGNORE ( $Rule, "n_fin_ea_recherche" )
endRule

```

```

Rule
@name = e_slo_peris
IF effet_anodique.etat.traitement
AND effet_anodique.etat.provoque is FALSE
AND effet_anodique.slo.peris
OR effet_anodique.etat.traitement
AND UNKNOWN ( effet_anodique.etat.provoque )
AND effet_anodique.slo.peris
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 OR effet_anodique.etat.traitement
 AND effet_anodique.etat.provoque is FALSE
 AND UNKNOWN (effet_anodique.slo.peris)
 AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 OR effet_anodique.etat.traitement
 AND UNKNOWN (effet_anodique.etat.provoque)
 AND UNKNOWN (effet_anodique.slo.peris)
 AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN effet_anodique.slo.commande_manuel is FALSE
 THEN effet_anodique.inspection.test is TRUE
 THEN effet_anodique.etat.provoque_2 is FALSE
 THEN IGNORE (\$Rule, "n_fin_ea_recherche")
 endRule

```

Rule
@name = e_trou_bloque
IF effet_anodique.inspection.test
AND
effet_anodique.inspection.un_trou_est_bloque
THEN TEXT ( "Fermez le casseur en problème au tableau de contrôle." )
THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = f_inc_slo
IF inc_slo.etat.traitement
THEN effet_anodique.etat.provoque_2 is FALSE
THEN effet_anodique.aller.pep is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g1_test_donnees2
@priority = 10
IF g1.test.donnees
AND ?donnees1 = ANY ( UNKNOWN ( {alimentateur1}.poids.@float ) )
OR g1.test.donnees
AND ?donnees2 = ANY ( UNKNOWN ( {alimentateur2}.poids.@float ) )
OR g1.test.donnees

```

```

AND ?donnees3 = ANY ( UNKNOWN (
{alimentateur3}.poids. @float ))
OR g1.test.donnees
AND ?donnees4 = ANY ( UNKNOWN (
{alimentateur4}.poids. @float ))
THEN TEXT ( "Certaines réponses sont
manquantes.

```

Mon expertise n'est pas suffisante pour pouvoir conclure correctement avec un manque d'information.

Des valeurs par défaut (1,8kg) remplaceront les valeurs manquantes.

Le moteur d'inférence va tout de même essayer de trouver une conclusion avec ces données.

Dans la mesure du possible, répondez à TOUTES les questions.")

```

endRule

```

```

Rule
@name = g1_test_donnees3
@priority = 9
IF g1.test.donnees
AND ?donnees = ANY ( UNKNOWN (
{alimentateur1}.poids. @float ))
THEN ALL ( {alimentateur1}.poids. @float is
1.800000 )
endRule

```

```

Rule
@name = g1_test_donnees4
@priority = 8
IF g1.test.donnees
AND ?donnees = ANY ( UNKNOWN (
{alimentateur2}.poids. @float ))
THEN ALL ( {alimentateur2}.poids. @float is
1.800000 )
endRule

```

```

Rule
@name = g1_test_donnees5
@priority = 7
IF g1.test.donnees
AND ?donnees = ANY ( UNKNOWN (
{alimentateur3}.poids. @float ))
THEN ALL ( {alimentateur3}.poids. @float is
1.800000 )
endRule

```

```

Rule
@name = g1_test_donnees6
@priority = 6
IF g1.test.donnees
AND ?donnees = ANY ( UNKNOWN (
{alimentateur4}.poids. @float ))
THEN ALL ( {alimentateur4}.poids. @float is
1.800000 )
endRule

```

```

Rule
@name = g_ecart_1
@priority = 15
IF echantillons.classification.niveau_2
AND {alimentateur1}.poids_ecart. @float >
0.200000
THEN TEXT ( "Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine..")
THEN alimentateur11.etat.probleme is TRUE
THEN date_aujourd'hui.date. @date is
$Current_date
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur 1 pour
le débloquent.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE

```

```

THEN alimentateur11.suite.trois is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_ecart_2
@priority = 12
IF alimentateur11.suite.trois
AND {alimentateur2}.poids_ecart. @float >
0.200000
THEN TEXT ( "Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine..")
THEN alimentateur22.etat.probleme is TRUE
THEN date_aujourd'hui.date. @date is
$Current_date
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur 2 pour
le débloquent.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
THEN alimentateur22.suite.trois is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_ecart_3
@priority = 9
IF alimentateur22.suite.trois
AND {alimentateur3}.poids_ecart. @float >
0.200000
THEN TEXT ( "Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine..")
THEN alimentateur33.etat.probleme is TRUE
THEN date_aujourd'hui.date. @date is
$Current_date
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur 3 pour
le débloquent.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
THEN alimentateur33.suite.trois is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_ecart_4
@priority = 6
IF alimentateur33.suite.trois
AND {alimentateur4}.poids_ecart. @float >
0.200000
THEN TEXT ( "Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine..")
THEN alimentateur44.etat.probleme is TRUE
THEN date_aujourd'hui.date. @date is
$Current_date
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur 4 pour
le débloquent.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_poids_inf_1
@priority = 14
IF echantillons.classification.niveau_2
AND {alimentateur1}.poids_ecart. @float <
0.200000
AND {alimentateur1}.poids_moy. @float <
1.700000
THEN TEXT ( "Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine..")
THEN alimentateur11.etat.probleme is TRUE
THEN date_aujourd'hui.date. @date is
$Current_date
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur 1 pour
le débloquent.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
THEN alimentateur11.suite.trois is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_poids_inf_2
@priority = 11
IF alimentateur11.suite.trois

```

```

AND {alimentateur2}.poids_ecart. @float <
0.200000
AND {alimentateur2}.poids_moy. @float <
1.700000
THEN TEXT ( "Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine..")
THEN alimentateur22.etat.probleme is TRUE
THEN date_aujourd'hui.date. @date is
$Current_date
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur 2 pour
le débloquent.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
THEN alimentateur22.suite.trois is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_poids_inf_3
@priority = 8
IF alimentateur22.suite.trois
AND {alimentateur3}.poids_ecart. @float <
0.200000
AND {alimentateur3}.poids_moy. @float <
1.700000
THEN TEXT ( "Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine..")
THEN alimentateur33.etat.probleme is TRUE
THEN date_aujourd'hui.date. @date is
$Current_date
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur 3 pour
le débloquent.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
THEN alimentateur33.suite.trois is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_poids_inf_4
@priority = 5
IF alimentateur33.suite.trois
AND {alimentateur4}.poids_ecart. @float <
0.200000
AND {alimentateur4}.poids_moy. @float <
1.700000
THEN TEXT ( "Il y a un problème dans
l'alimentation en alumine..")
THEN alimentateur44.etat.probleme is TRUE
THEN date_aujourd'hui.date. @date is
$Current_date
THEN TEXT ( "Frappez sur l'alimentateur 4 pour
le débloquent.")
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_poids_sup_1
@priority = 13
IF echantillons.classification.niveau_2
AND {alimentateur1}.poids_ecart. @float <
0.200000
AND {alimentateur1}.poids_moy. @float >
1.700000
THEN TEXT ( "Aucun problème sur
l'alimentateur 1.")
THEN alimentateur11.etat.probleme is FALSE
THEN alimentateur11.suite.trois is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = g_poids_sup_2
@priority = 10
IF alimentateur11.suite.trois
AND {alimentateur2}.poids_ecart. @float <
0.200000
AND {alimentateur2}.poids_moy. @float >
1.700000
THEN TEXT ( "Aucun problème sur
l'alimentateur 2.")
THEN alimentateur22.etat.probleme is FALSE

```

```
THEN alimentateur22.suite.trois is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = g_poids_sup_3
@priority = 7
IF alimentateur22.suite.trois
AND (alimentateur3).poids_ecart.@float <
0.200000
AND (alimentateur3).poids_moy.@float >
1.700000
THEN TEXT ( "Aucun problème sur
l'alimentateur 3." )
THEN alimentateur33.etat.probleme is FALSE
THEN alimentateur33.suite.trois is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = g_poids_sup_4
@priority = 4
IF alimentateur33.suite.trois
AND (alimentateur4).poids_ecart.@float <
0.200000
AND (alimentateur4).poids_moy.@float >
1.700000
THEN TEXT ( "Aucun problème sur
l'alimentateur 4." )
THEN alimentateur44.etat.probleme is FALSE
THEN alim.frapper.doseur is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = generale_test_donnees
@priority = 20
IF generale.test.donnees
AND ?donnees = ANY ( NOTKNOWN (
(interface_generale).etat.probleme ) )
THEN ALL ( ?donnees.etat.probleme is FALSE )
endRule
```

```
Rule
@name = h_silo_niv_bas_entre
IF petit_silo.test.entree
AND petit_silo.alumine.entree
THEN TEXT ( "La situation est revenue à la
normale." )
endRule
```

```
Rule
@name = h_silo_niv_bas_nentre_pas
IF petit_silo.test.entree
AND petit_silo.alumine.entree is FALSE
THEN TEXT ( "Il y a un blocage dans le
système mécanique de l'alimentation en
alumine." )
THEN aero_ext.test.alumine is TRUE
THEN TEXT ( "Répondez aux questions
suivantes qui sont écrites sur papier et ensuite
entrez les réponses dans le système expert." )
THEN FORM ( "c:\comdale\se\la2.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\lgwbasic.exe
c:\comdale\se\la2.bas" )
THEN a2.test.donnees is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = h_silo_niv_n
IF petit_silo.etat.traitement
AND petit_silo.alumine.niveau_normal
OR petit_silo.etat.traitement
AND UNKNOWN (
petit_silo.alumine.niveau_normal )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN TEXT ("La situation est normale.")

```
endRule
```

```
Rule
@name = h_silo_niv_o
IF petit_silo.etat.traitement
AND petit_silo.alumine.niveau_normal is
FALSE
THEN TEXT ( "Actionnez l'aéroglossière
extérieure." )
THEN petit_silo.test.entree is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = i_pression_n
IF pression.etat.traitement
AND
pression.demarrage.deuxieme_compresseur is
FALSE
THEN TEXT ( "Appelez un mécanicien et faites
réparer sans délai ce deuxième compresseur.
```

Si le bris est important, vous devez placer un compresseur temporaire.")
endRule

```
Rule
@name = i_pression_o
IF pression.etat.traitement
AND
pression.demarrage.deuxieme_compresseur
OR pression.etat.traitement
AND UNKNOWN (
pression.demarrage.deuxieme_compresseur )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Le deuxième compresseur étant parti,
la pression devrait se rétablir sous peu.")
endRule

```
Rule
@name = initiale
IF TRUE
THEN classification.si_probl.ordi_central is
TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = j_cont_norm
IF controleur.etat.changer
AND controleur.etat.fonctionnement_2
OR controleur.etat.changer
AND UNKNOWN (
controleur.etat.fonctionnement_2 )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Le contrôleur fonctionne bien.

```
La situation est normale." )
THEN PEP.fonctionnement.connu = KNOWN (
PEP.etat.fonctionnement )
endRule
```

```
Rule
@name = j_fin_oui
IF PEP.fonctionnement.connu
AND PEP.etat.fonctionnement is FALSE
THEN controleur.changement.fait is TRUE
endRule
```

```
Rule
@name = j_valise
IF controleur.etat.changer
```

```
AND controleur.etat.fonctionnement_2 is
FALSE
THEN TEXT ( "Branchez la valise.
```

Appelez un électricien.")
THEN valise.test.fonctionne is TRUE
endRule

```
Rule
@name = j_valise_non
IF valise.test.fonctionne
AND valise.etat.fonctionne is FALSE
THEN TEXT ( "Alimentez manuellement la cuve
en alumine." )
endRule
```

```
Rule
@name = j_valise_oui
IF valise.test.fonctionne
AND valise.etat.fonctionne
OR valise.test.fonctionne
AND UNKNOWN ( valise.etat.fonctionne )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN PEP.fonctionnement.connu = KNOWN (PEP.etat.fonctionnement)
endRule

```
Rule
@name = i_lampe_r_ali_seulement
@priority = 5
IF lampe.rouge.allumee
AND cuve.presence.EA is FALSE
AND petit_silo.etat.niveau_normal
OR lampe.rouge.allumee
AND cuve.presence.EA is FALSE
AND UNKNOWN ( petit_silo.etat.niveau_normal )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.
```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN TEXT ("La cuve est à l'état "ALIMENTE SEULEMENT"

Aucune action à prendre.")
endRule

```
Rule
@name = i_lampe_r_controleur
@priority = 6
IF lampe.rouge.allumee
AND controleur.etat.fonctionnement is FALSE
THEN TEXT ( "Le contrôleur est hors fonction.
```

Changez le contrôleur.

Cliquez sur O.K. lorsque le changement sera fait.")
THEN controleur.etat.changer is TRUE
THEN FORGET ("controleur.etat.fonctionne")
endRule

```
Rule
@name = i_lampe_r_EA
@priority = 6
IF lampe.rouge.allumee
AND controleur.etat.fonctionnement
AND verification.etat.lampe_blanche_allumee
OR lampe.rouge.allumee
AND controleur.etat.fonctionnement
AND voltage.etat.eleve
OR lampe.rouge.allumee
AND UNKNOWN (
controleur.etat.fonctionnement )
```

AND verification.etat.lampe_blanche_allumee
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
OR lampe.rouge.allumee
AND UNKNOWN (
controleur.etat.fonctionnement)
AND voltage.etat.eleve
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Il y a un effet anodique dans la
cuve d'électrolyse.")
THEN classification.deuxieme.EA is TRUE
THEN cuve.presence.EA is TRUE
ELSE cuve.presence.EA is FALSE
endRule

Rule
@name = l_lampe_r_niv_alu_silo
@priority = 5
IF lampe.rouge.allumee
AND cuve.presence.EA is FALSE
AND petit_silo.etat.niveau_normal is FALSE
THEN TEXT ("Le petit silo est presque vide.")
THEN TEXT ("Le problème doit se situer au
niveau de l'aéroglossière extérieure. Actionnez-
la.")
THEN petit_silo.test.entre is TRUE
endRule

Rule
@name = m1_test_donnees2
@priority = 30
IF m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.inspection_visuelle)
OR m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.les_casseurs_sont_actionnes)
OR m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.PEP_fonctionne)
OR m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.lampe_rouge_allumee)
OR m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.lampe_blanche_allumee)
THEN TEXT ("Certaines réponses sont
manquantes.

Dans la mesure du possible, répondez à
TOUTES les questions.

Des valeurs par défaut représentant
les conditions normales seront utilisées.")
endRule

Rule
@name = m1_test_donnees3
@priority = 25
IF m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.inspection_visuelle)
THEN verification.etat.inspection_visuelle is
FALSE
endRule

Rule
@name = m1_test_donnees4
@priority = 24
IF m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.les_casseurs_sont_actionnes)

THEN
verification.etat.les_casseurs_sont_actionnes is
TRUE
endRule

Rule
@name = m1_test_donnees5
@priority = 23
IF m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.PEP_fonctionne)
THEN verification.etat.PEP_fonctionne is TRUE
endRule

Rule
@name = m1_test_donnees6
@priority = 22
IF m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.lampe_rouge_allumee)
THEN verification.etat.lampe_rouge_allumee is
FALSE
endRule

Rule
@name = m1_test_donnees7
@priority = 21
IF m1.test.donnees
AND NOTKNOWN (
verification.etat.lampe_blanche_allumee)
THEN verification.etat.lampe_blanche_allumee
is FALSE
endRule

Rule
@name = m2_contr_non
IF PEP.a.changer
AND controleur.casseurs.fonctionnent is
FALSE
THEN TEXT ("Le contrôleur ne marche pas.

On ne peut rien faire pour le PEP,
tant que l'ordinateur central ne sera pas
fonctionnel.")
endRule

Rule
@name = m2_contr_oui
IF PEP.a.changer
AND controleur.casseurs.fonctionnent
OR PEP.a.changer
AND UNKNOWN (
controleur.casseurs.fonctionnent)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Changez le PEP.

Lorsque ce sera fait, cliquez sur O.K.")
THEN PEP.analyse.suite is TRUE
endRule

Rule
@name = m2_test_pep_n
IF PEP.analyse.suite
AND PEP.test.fonctionnement_2 is FALSE
THEN TEXT ("Appelez un électricien pour
faire réparer le PEP.")
endRule

Rule
@name = m2_test_PEP_o
IF PEP.analyse.suite
AND PEP.test.fonctionnement_2
OR PEP.analyse.suite
AND UNKNOWN (PEP.test.fonctionnement_2)

AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Le PEP est réparé.")
endRule

Rule
@name = m_ordi_central_criteres
@priority = 20
IF ordi_central.verification.criteres
AND verification.etat.inspection_visuelle is
FALSE
AND verification.etat.lampe_blanche_allumee
is FALSE
AND verification.etat.lampe_rouge_allumee is
FALSE
AND verification.etat.PEP_fonctionne is TRUE
AND
verification.etat.les_casseurs_sont_actionnes is
TRUE
THEN verification.etat.tout_est_normal is TRUE
endRule

Rule
@name = m_ordi_central_int_f
@priority = 9
IF ordi_central.reamorcer.ne_fonctionne_pas
AND ordi_central.interruption.longue_duree is
FALSE
THEN TEXT ("Le problème s'est réglé
rapidement. Une interruption de courte durée ne
dérange pas le contrôle de la cuve.")
endRule

Rule
@name = m_ordi_central_int_v_casseurs
@priority = 5
IF ordi_central.verification.manuelle
AND
verification.etat.les_casseurs_sont_actionnes is
FALSE
THEN TEXT ("Le contrôleur de la cuve ne
fonctionne pas.")
THEN TEXT ("Changez le contrôleur.

Cliquez sur O.K. lorsque le changement sera
fait.")
THEN controleur.etat.changer is TRUE
endRule

Rule
@name = m_ordi_central_int_v_cuve_norm
@priority = 6
IF ordi_central.verification.manuelle
AND verification.etat.tout_est_normal is TRUE
THEN TEXT ("Pour le moment, tout semble
bien allé sur la cuve d'électrolyse.")
THEN TEXT ("Tant que l'ordinateur central ne
sera pas fonctionnel, vous devez faire une
surveillance constante et accrue sur la cuve.")
endRule

Rule
@name = m_ordi_central_int_v_insp_vis
IF ordi_central.verification.manuelle
AND verification.etat.inspection_visuelle is
TRUE
THEN FORM ("c:\comdale\seld_ins.frm")
THEN
inspection_visuelle.classification.niveau_2 is
TRUE
THEN d_ins.test.donnees is TRUE
endRule

Rule
@name = m_ordi_central_int_v_lampe_b


```

@priority = 4
IF ordi_central.verification.manuelle
AND verification.etat.lampe_blanche_allumee
THEN TEXT ( "Si la lampe blanche est allumée,
ceci indique que la cuve est à l'état effet
anodique en présence." )
THEN classification.deuxieme.EA is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = m_ordi_central_int_v_lampe_r
@priority = 2
IF ordi_central.verification.manuelle
AND verification.etat.lampe_rouge_allumee
THEN TEXT ( "Si la lampe rouge est allumée,
ceci indique qu'une intervention manuelle doit
être faite sur la cuve." )
THEN lampe.rouge.allumee is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = m_ordi_central_int_v_PEP
@priority = 3
IF ordi_central.verification.manuelle
AND verification.etat.PEP_fonctionne is FALSE
THEN TEXT ( "Le PEP de la cuve ne fonctionne
pas." )
THEN PEP.a.changer is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = m_ordi_central_longue_duree
IF ordi_central.rearmorer.ne_fonctionne_pas
AND ordi_central.interruption.longue_duree
OR ordi_central.rearmorer.ne_fonctionne_pas
AND UNKNOWN (
ordi_central.interruption.longue_duree )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

```

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
OR ordi_central.inspection_visuelle.cuve
THEN FORGET (
"ordi_central.encore.en_probleme" )
THEN ordi_central.encore.en_probleme is
TRUE
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+",
"ordi_central.encore.en_probleme", 0.000000,
100.000000 )
THEN TEXT ( "Répondez aux questions
suivantes qui sont écrites sur papier et ensuite
entrez les réponses dans le système expert." )
THEN FORM ( "c:\comdale\se\m1.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\gwbasic.exe
c:\comdale\se\m1.bas" )
THEN ordi_central.verification.criteres is TRUE
THEN ordi_central.verification.manuelle is
TRUE
THEN m1.test.donnees is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = m_ordi_central_rearmorer_f
@priority = 10
IF ordi_central.etat.en_panne
AND ordi_central.rearmorer.fonctionne is
FALSE
THEN TEXT ( "Une carte électronique de
l'ordinateur
n'a peut-être plus d'alimentation.

```

```

Appelez Yvon Paradis pour qu'il fasse une
vérification." )
THEN
ordi_central.rearmorer.ne_fonctionne_pas is
TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = m_ordi_central_rearmorer_v
@priority = 10
IF ordi_central.etat.en_panne
AND ordi_central.rearmorer.fonctionne
OR ordi_central.etat.en_panne
AND UNKNOWN (
ordi_central.rearmorer.fonctionne )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

```

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN TEXT ( "Tout est revenu à la normale. Le
problème est réglé." )
endRule

```

```

Rule
@name = meta_alarme
IF meta.classification.niveau_1
AND alarme.etat.probleme
THEN FORM ( "c:\comdale\se\alarme.frm" )
THEN alarme.classification.niveau_2 is TRUE
THEN alarme.test.donnees is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_alarme_controleur
@priority = 2
IF alarme.classification.niveau_2
AND controleur.etat.alarme
THEN TEXT ( "Changez le contrôleur.

```

```

Pressez sur O.K. lorsque le changement sera
fait." )
THEN controleur.etat.changer is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_alarme_ea
@priority = 5
IF alarme.classification.niveau_2
AND effet_anodique.etat.alarme
AND inc_SLO.etat.alarme is FALSE
THEN effet_anodique.etat.traitement is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_alarme_inc_SLO
@priority = 4
IF alarme.classification.niveau_2
AND inc_SLO.etat.alarme
THEN inc_SLO.etat.traitement is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_alarme_ordi_central
IF alarme.classification.niveau_2
AND ordi_central.etat.alarme
THEN TEXT ( "Aucune autre alarme ne pourra
être générée tant que
l'ordinateur central sera arrêté.

```

```

Essayez de réarmer l'ordinateur central." )
THEN ordi_central.etat.en_panne is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_alarme_petit_silo
@priority = 3
IF alarme.classification.niveau_2
AND petit_silo.etat.alarme
THEN petit_silo.etat.traitement is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_alarme_pression

```

```

@priority = 6
IF alarme.classification.niveau_2
AND pression.etat.alarme
THEN pression.etat.traitement is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_alarme_test_donnees
@priority = 20
IF alarme.test.donnees
AND ?donnees = ANY ( NOTKNOWN (
{classe_alarme}.etat.alarme ) )
THEN ALL ( ?donnees.etat.alarme is FALSE )
endRule

```

```

Rule
@name = meta_boue
IF meta.classification.niveau_1
AND boue.etat.probleme
THEN boue.classification.niveau_2 is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_echantillons
IF meta.classification.niveau_1
AND echantillons.etat.probleme
THEN echantillons.classification.niveau_2 is
TRUE
THEN TEXT ( "Répondez aux questions
suivantes qui sont écrites sur papier et ensuite
entrez les réponses dans le système expert." )
THEN FORM ( "c:\comdale\se\g1.frm" )
THEN ACTIVATE ( "c:\comdale\se\gwbasic.exe
c:\comdale\se\g1.bas" )
THEN g1.test.donnees is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_generale
IF classification.si_prob.ordi_central
AND ordi_central.encore.en_probleme2 is
FALSE
THEN meta.classification.niveau_1 is TRUE
THEN FORM ( "c:\comdale\se\generale.frm" )
THEN generale.test.donnees is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = meta_inspection
IF meta.classification.niveau_1
AND inspection_visuelle.etat.probleme
THEN FORM ( "c:\comdale\se\id.ins.frm" )
THEN
inspection_visuelle.classification.niveau_2 is
TRUE
THEN d_ins.test.donnees is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_baisse_anodes_n
IF effet_anodique.mouvement.permis
AND effet_anodique.niv_bain.baisse is FALSE
OR effet_anodique.mouvement.permis
AND UNKNOWN (
effet_anodique.niv_bain.baisse )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

```

La valeur par défaut dirige l'inférence
vers une situation normale." )
THEN TEXT ( "Attendez un peu.

```

```

Aucune action à prendre pour le moment." )
THEN FREERULE ( $AllPrem,
"effet_anodique.test.voltage_4" )
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage.**" )
THEN effet_anodique.test.voltage_4 is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_baisse_anodes_o
IF effet_anodique.mouvement.permis
AND effet_anodique.niv_bain.baisse
THEN TEXT ( "Descendez les anodes par coup
de 2 mm
tout en vérifiant le niveau du bain." )
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.test.voltage_4" )
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage.**" )
THEN effet_anodique.test.voltage_4 is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_dslo
IF effet_anodique.demarrer.d_slo
THEN TEXT ( "Démarez le deuxième SLO
par le programme 787." )
THEN effet_anodique.d_slo.test is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_dslo_n
IF effet_anodique.d_slo.test
AND effet_anodique.resultat.d_slo is FALSE
THEN effet_anodique.test.voltage_2 is TRUE
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage.**" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_dslo_o
IF effet_anodique.d_slo.test
AND effet_anodique.resultat.d_slo
OR effet_anodique.d_slo.test
AND UNKNOWN (
effet_anodique.resultat.d_slo )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("L'effet anodique est éteint.

```

La situation est normale." )
THEN effet_anodique.etat.fin is TRUE
THEN FREERULE ( $Rule,
"n_fin_ea_recherche" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_ea_fin_non_signale
IF effet_anodique.test.fin
AND effet_anodique.ordi.signale_fin is FALSE
THEN TEXT ( "Aucune action à prendre tant que
l'ordinateur n'aura pas signalé
la fin de l'effet anodique." )
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.attente.fin" )
THEN effet_anodique.attente.fin is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_ea_fin_non_signale_2
IF effet_anodique.attente.fin
THEN FORGET (
"effet_anodique.ordi.signale_fin" )
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.test.fin" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_ea_fin_signale
IF effet_anodique.test.fin
AND effet_anodique.ordi.signale_fin
OR effet_anodique.test.fin
AND UNKNOWN (
effet_anodique.ordi.signale_fin )

```

AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("La situation est revenue à la normale.

Vous ferez une correction négative sur l'alimentation en alumine dans environ 1 heure.

```

Cette correction durera jusqu'au retour de la
température cible ou jusqu'à la prochaine
observation." )
THEN effet_anodique.etat.fin is TRUE
THEN FREERULE ( $Rule,
"n_fin_ea_recherche" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_fin_ea_recherche
IF effet_anodique.etat.fin
AND effet_anodique.etat.provoque_2 is FALSE
THEN TEXT ( "Il faut trouver la cause de l'effet
anodique.

```

```

Vous devez inspecter les casseurs et
alimentateurs de la cuve d'électrolyse." )
THEN FORM ( "c:\comdale\seld.ins.frm" )
THEN
inspection_visuelle.classification.niveau_2 is
TRUE
THEN d_ins.test.donnees is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_insere_bois
IF effet_anodique.bois.essai
THEN TEXT ( "Insérez un morceau de bois sous
les anodes." )
THEN effet_anodique.bois.resultat is TRUE
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage.@1" )
THEN effet_anodique.bois.nombre is FALSE
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.bois.resultat" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_instabilite
IF effet_anodique.etat.sortie_haut_voltage
AND effet_anodique.stabilite.voltage is FALSE
THEN TEXT ( "On doit essayer d'obtenir la
stabilité du voltage
de la cuve avant de faire d'autres actions.

```

```

Montez le plan anodique par coup de 2 mm
jusqu'à ce que la stabilité soit atteinte." )
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.stabilite.voltage_2" )
THEN effet_anodique.stabilite.voltage_2 is
TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_instabilite_2
IF effet_anodique.stabilite.voltage_2
THEN FORGET (
"effet_anodique.stabilite.voltage" )
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.etat.sortie_haut_voltage" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_moins_8
IF effet_anodique.test.voltage_4
AND effet_anodique.voltage.moins_de_8_V
OR effet_anodique.test.voltage_4

```

```

AND UNKNOWN (
effet_anodique.voltage.moins_de_8_V )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Attendez que le voltage
approche 6 volts.

```

Ramenez le plan anodique au niveau zéro." )
THEN effet_anodique.test.fin is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_pep
IF effet_anodique.aller.pep
THEN TEXT ( "Allez au PEP pour opérer la cuve
durant l'effet anodique." )
THEN effet_anodique.test.voltage is TRUE
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.test.voltage" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_plan_inf_4
IF effet_anodique.stable.suite
AND effet_anodique.niv_plan.sup_4 is FALSE
OR effet_anodique.stable.suite
AND UNKNOWN (
effet_anodique.niv_plan.sup_4 )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN.

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Attendre un peu.

```

Aucune action à prendre pour le moment." )
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.test.voltage_4" )
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage.**" )
THEN effet_anodique.test.voltage_4 is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_plan_sup_4
IF effet_anodique.stable.suite
AND effet_anodique.niv_plan.sup_4
THEN effet_anodique.mouvement.permis is
TRUE
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.mouvement.permis" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_plus_8
IF effet_anodique.test.voltage_4
AND effet_anodique.voltage.plus_de_8_V
THEN FORGET (
"effet_anodique.niv_bain.baisse" )
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.niv_bain.baisse" )
THEN FORGET (
"effet_anodique.niv_plan.sup_4" )
THEN FORGET (
"effet_anodique.mouvement.permis" )
THEN FREERULE ( $AIIPrem,
"effet_anodique.stable.suite" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_pslon
IF effet_anodique.etat.actions
AND effet_anodique.resultat.p_slo is FALSE
AND effet_anodique.slo.commande_manuel is
FALSE
THEN effet_anodique.aller.pep is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_psl_o
IF effet_anodique.etat.actions
AND effet_anodique.resultat.p_slo is FALSE
AND effet_anodique.slo.commande_manuel
THEN TEXT ( "Baissez les anodes de 5 mm." )
THEN effet_anodique.aller.pep is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_psl_o
IF effet_anodique.etat.actions
AND effet_anodique.resultat.p_slo
OR effet_anodique.etat.actions
AND UNKNOWN (
  effet_anodique.resultat.p_slo )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN." )

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("L'effet anodique est éteint.

```

La situation est normale." )
THEN effet_anodique.etat.fin is TRUE
THEN FREERULE ( $Rule,
  "n_fin_ea_recherche" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_stable
IF effet_anodique.etat.sortie_haut_voltage
AND effet_anodique.stabilite.voltage
OR effet_anodique.etat.sortie_haut_voltage
AND UNKNOWN (
  effet_anodique.stabilite.voltage )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN." )

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("Vous devez faire une descente rapide des anodes par coup de 2 mm jusqu'à ce que le plan anodique soit au niveau zéro ou tant que la stabilité le permet.")
 THEN effet_anodique.stable.suite is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = n_v1_cc
@priority = 10
IF effet_anodique.test.voltage
AND effet_anodique.voltage.court_circuit
THEN TEXT ( "La cuve est en court-circuit." )

```

Avec le PEP, montez le plan anodique par coup de 2 mm.

```

Ne faire qu'un mouvement
par cycle d'action (3,6 min.).")
THEN FREERULE ( $AllPrem,
  "effet_anodique.v1.deux" )
THEN effet_anodique.v1.deux is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_v1_cc_2
@priority = 10
IF effet_anodique.v1.deux
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage.**" )
THEN FORGET (
  "effet_anodique.niv_plan.mcinq_zero" )
THEN FREERULE ( $AllPrem,
  "effet_anodique.test.voltage" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_v1_cible
@priority = 10
IF effet_anodique.test.voltage
AND effet_anodique.voltage.voltage_normal
OR effet_anodique.test.voltage
AND UNKNOWN (
  effet_anodique.voltage.voltage_normal )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN." )

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("L'effet anodique est éteint.

```

La situation est normale." )
THEN effet_anodique.etat.fin is TRUE
THEN FREERULE ( $Rule,
  "n_fin_ea_recherche" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_v1_ea_niv_n
@priority = 10
IF effet_anodique.test.voltage
AND
  effet_anodique.voltage.encore_effet_anodique
AND effet_anodique.niv_plan.mcinq_zero is FALSE
THEN TEXT ( "Descendez les anodes par coup de 2 mm
  espacé de 36 secondes pour ramener le niveau du plan anodique entre -5 et 0 mm." )
THEN FREERULE ( $AllPrem,
  "effet_anodique.v1.deux" )
THEN effet_anodique.v1.deux is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_v1_ea_niv_o
@priority = 10
IF effet_anodique.test.voltage
AND
  effet_anodique.voltage.encore_effet_anodique
AND effet_anodique.niv_plan.mcinq_zero
OR effet_anodique.test.voltage
AND
  effet_anodique.voltage.encore_effet_anodique
AND UNKNOWN (
  effet_anodique.niv_plan.mcinq_zero )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN." )

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN effet_anodique.demarrer.d_slo is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = n_v2_cc
IF effet_anodique.test.voltage_2
AND effet_anodique.voltage.court_circuit
THEN TEXT ( "La cuve est en court-circuit." )

```

Avec le PEP, montez le plan anodique par coup de 2 mm.

```

Ne faire qu'un mouvement
par cycle d'action (3,6 min.).")
THEN FREERULE ( $AllPrem,
  "effet_anodique.v2.deux" )
THEN effet_anodique.v2.deux is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_v2_cc_2
IF effet_anodique.v2.deux
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage.**" )

```

```

THEN FORGET (
  "effet_anodique.niv_plan.mcinq_quatre" )
THEN FREERULE ( $AllPrem,
  "effet_anodique.test.voltage_2" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_v2_cible
IF effet_anodique.test.voltage_2
AND effet_anodique.voltage.voltage_normal
OR effet_anodique.test.voltage_2
AND UNKNOWN (
  effet_anodique.voltage.voltage_normal )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN." )

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("L'effet anodique est éteint.

```

La situation est normale." )
THEN effet_anodique.etat.fin is TRUE
THEN FREERULE ( $Rule,
  "n_fin_ea_recherche" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_v2_ea_niv_n
IF effet_anodique.test.voltage_2
AND
  effet_anodique.voltage.encore_effet_anodique
AND effet_anodique.niv_plan.mcinq_quatre is FALSE
THEN TEXT ( "Descendez les anodes par coup de 2 mm
  espacé de 36 secondes pour ramener le niveau du plan anodique soit à -5 ou à -4 mm." )
THEN FREERULE ( $AllPrem,
  "effet_anodique.v2.deux" )
THEN effet_anodique.v2.deux is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_v2_ea_niv_o
IF effet_anodique.test.voltage_2
AND
  effet_anodique.voltage.encore_effet_anodique
AND effet_anodique.niv_plan.mcinq_quatre
OR effet_anodique.test.voltage_2
AND
  effet_anodique.voltage.encore_effet_anodique
AND UNKNOWN (
  effet_anodique.niv_plan.mcinq_quatre )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN." )

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN FORGET ("effet_anodique.bois.essai")
 THEN effet_anodique.bois.essai is TRUE
 THEN FREERULE (\$AllPrem,
 "effet_anodique.bois.essai")
 endRule

```

Rule
@name = n_v3_cc
IF effet_anodique.bois.resultat
AND effet_anodique.voltage_3.court_circuit
THEN TEXT ( "La cuve est en court-circuit." )

```

Avec le PEP, montez le plan anodique par coup de 2 mm.

```

Ne faire qu'un mouvement
par cycle d'action (3,6 min.).")
THEN FREERULE ( $AllPrem,
  "effet_anodique.v3.deux" )
THEN effet_anodique.v3.deux is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_v3_cc_2
IF effet_anodique.v3.deux
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage."" )
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage_3."" )
THEN FORGET (
"effet_anodique.niv_plan.mcinq_quatre" )
THEN FORGET ( "effet_anodique.bois.resultat" )
THEN FORGET ( "effet_anodique.bois.essai" )
THEN FREERULE ( $AllPrem,
"effet_anodique.test.voltage_2" )
THEN FREERULE ( $AllPrem,
"effet_anodique.bois.essai" )
THEN FREERULE ( $AllPrem,
"effet_anodique.bois.resultat" )
THEN effet_anodique.test.voltage_2 is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_v3_cible
IF effet_anodique.bois.resultat
AND effet_anodique.voltage_3.voltage_normal
OR effet_anodique.bois.resultat
AND UNKNOWN (
effet_anodique.voltage_3.voltage_normal )
AND TEXT ( "Vous avez répondu UNKNOWN."

```

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
 THEN TEXT ("L'effet anodique est éteint.

```

La situation est normale." )
THEN effet_anodique.etat.fin is TRUE
THEN FREERULE ( $Rule,
"n_fin_ea_recherche" )
endRule

```

```

Rule
@name = n_v3_ea_d_bois
IF effet_anodique.bois.resultat
AND
effet_anodique.voltage_3.encore_effet_anodiqu
e
AND effet_anodique.bois.nombre
THEN TEXT ( "Cuve en sortie haut voltage.
On suivra la procédure appropriée pour ce cas."
)
THEN effet_anodique.etat.sortie_haut_voltage is
TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_v3_ea_p_bois
IF effet_anodique.bois.resultat
AND
effet_anodique.voltage_3.encore_effet_anodiqu
e
AND effet_anodique.bois.nombre is FALSE
THEN TEXT ( "Baissez les anodes de 3 mm
puis insérez
un deuxième morceau de bois." )
THEN effet_anodique.bois.deux is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = n_v3_ea_p_bois_2
IF effet_anodique.bois.deux
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage_3."" )
THEN FORGET ( "effet_anodique.bois.nombre"
)
THEN effet_anodique.bois.nombre is TRUE
THEN FREERULE ( $AllPrem,
"effet_anodique.bois.resultat" )
endRule

```

```

Rule

```

```

@name = n_v3_forte_instabilite
IF effet_anodique.bois.resultat
AND effet_anodique.voltage_3.forte_instabilite
THEN TEXT ( "Cuve en sortie haut voltage.
On suivra la procédure appropriée pour ce cas."
)
THEN effet_anodique.etat.sortie_haut_voltage is
TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = o_alim
IF effet_anodique.traitement.pas_de_slo
AND fonctionnement.cuve.alimente_seulement
THEN TEXT ( "Commandez le SLO par le
programme 787
lorsque vous le jugerez nécessaire." )
THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = o_autre
IF effet_anodique.traitement.pas_de_slo
AND fonctionnement.cuve.autre_situation
THEN TEXT ( "Mon expertise ne me permet pas
de traiter ce cas.

```

La consultation va se continuer comme si le fonctionnement de la cuve était normal.")
 THEN TEXT ("Commandez le SLO par le programme 787.")
 THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = o_normal
IF effet_anodique.traitement.pas_de_slo
AND fonctionnement.cuve.normal
THEN TEXT ( "Commandez le SLO par le
programme 787." )
THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = o_remise
IF effet_anodique.traitement.pas_de_slo
AND fonctionnement.cuve.remise_en_charge
THEN TEXT ( "Le contrôle de la résistance n'est
pas permis.

```

Vous devez vous occuper d'éteindre l'effet anodique.")
 THEN charge_a_terre.test.duree is TRUE
 endRule

```

Rule
@name = o_remise_n
IF charge_a_terre.test.duree
AND charge_a_terre.duree.plus_1_heure is
FALSE
THEN TEXT ( "Commandez le SLO par le
programme 787
lorsque vous le jugerez nécessaire." )
THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = o_remise_o
IF charge_a_terre.test.duree
AND charge_a_terre.duree.plus_1_heure
THEN TEXT ( "Insérez un morceau de bois sous
les anodes
lorsque vous le jugerez nécessaire." )
THEN effet_anodique.bois.resultat is TRUE
THEN FORGET ( "effet_anodique.voltage.@f" )
THEN effet_anodique.bois.nombre is FALSE

```

```

THEN FREERULE ( $AllPrem,
"effet_anodique.bois.resultat" )
endRule

```

```

Rule
@name = o_siphonnage
IF effet_anodique.traitement.pas_de_slo
AND fonctionnement.cuve.siphonnage
THEN TEXT ( "Arrêtez le siphonnage.

```

Réajustez le niveau du plan anodique en le baissant de 15 mm.

```

Commandez le SLO par le programme 787." )
THEN effet_anodique.etat.actions is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = ordi_central_corrige
IF classification.si_probl.ordi_central
AND ordi_central.encore.en_probleme2
AND ordi_central.probleme.corrige
THEN ordi_central.encore.en_probleme is
FALSE
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+",
"ordi_central.encore.en_probleme", 0.000000,
100.000000 )
THEN meta.classification.niveau_1 is TRUE
THEN FORM ( "c:\comdale\se\generale.frm" )
THEN generale.test.donnees is TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = ordi_central_pas_corrige
IF classification.si_probl.ordi_central
AND ordi_central.encore.en_probleme2
AND ordi_central.probleme.corrige is FALSE
THEN ordi_central.encore.en_probleme is
TRUE
THEN EXPORT ( "c:\comdale\se\souvenir.txt+",
"ordi_central.encore.en_probleme", 0.000000,
100.000000 )
THEN TEXT ( "Vous devez faire une inspection
visuelle de la cuve." )
THEN ordi_central.inspection_visuelle.cuve is
TRUE
endRule

```

```

Rule
@name = q_boue_localisee
IF boue.soupconne.presence
AND boue.presence.fond_cuve is TRUE
AND anodes.changement.autour_casseur
AND boue.localisee.sous_anodes_changees
THEN TEXT ( "La présence de la boue est due
au changement d'anodes.

```

La boue affecte la température et la stabilité de la cuve.

```

Aucune action à prendre pour le moment
concernant la boue." )
endRule

```

```

Rule
@name = q_boue_non_localisee
IF boue.soupconne.presence
AND boue.presence.fond_cuve is TRUE
AND anodes.changement.autour_casseur
AND boue.localisee.sous_anodes_changees is
FALSE
OR boue.soupconne.presence
AND boue.presence.fond_cuve is TRUE
AND anodes.changement.autour_casseur
AND UNKNOWN (
boue.localisee.sous_anodes_changees )

```

AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Notez cette observation dans le livre
d'opération et avertissez le contremaître de la présence de la boue.")
endRule

Rule
@name = q_ea_difficile
IF boue.changement.aucun
AND effet_anodique.precedent.difficile
THEN TEXT ("Réduisez l'alimentation en alumine
selon votre jugement.")
endRule

Rule
@name = q_ea_non_difficile
IF boue.changement.aucun
AND effet_anodique.precedent.difficile is FALSE
OR boue.changement.aucun
AND UNKNOWN (effet_anodique.precedent.difficile)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN TEXT ("Surveillez fréquemment la boue.")
endRule

Rule
@name = q_pas_changement_anode
IF boue.soupconne.presence
AND boue.presence.fond_cuve is TRUE
AND anodes.changement.autour_casseur is FALSE
OR boue.soupconne.presence
AND boue.presence.fond_cuve is TRUE
AND UNKNOWN (anodes.changement.autour_casseur)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN boue.changement.aucun is TRUE
endRule

Rule
@name = q_temp_elev_cuve_instable
IF boue.classification.niveau_2
AND cuve.temperature_elevee.longtemps
OR boue.classification.niveau_2
AND cuve.instable.longtemps
THEN boue.soupconne.presence is TRUE
endRule

Rule
@name = q_temp_norm_cuve_norm
IF boue.classification.niveau_2
AND cuve.temperature_elevee.longtemps is FALSE
AND cuve.instable.longtemps is FALSE
OR boue.classification.niveau_2
AND UNKNOWN (cuve.temperature_elevee.longtemps)
AND cuve.instable.longtemps is FALSE
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
OR boue.classification.niveau_2

AND cuve.temperature_elevee.longtemps is FALSE
AND UNKNOWN (cuve.instable.longtemps)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
OR boue.classification.niveau_2
AND UNKNOWN (cuve.temperature_elevee.longtemps)
AND UNKNOWN (cuve.instable.longtemps)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN TEXT ("L'expertise actuelle ne permet pas
de diagnostiquer un problème avec ces informations.

Aucune action à prendre pour le moment.")
endRule

Rule
@name = q_test_boue_n
IF boue.soupconne.presence
AND boue.presence.fond_cuve is FALSE
OR boue.soupconne.presence
AND UNKNOWN (boue.presence.fond_cuve)
AND TEXT ("Vous avez répondu UNKNOWN.

La valeur par défaut dirige l'inférence vers une situation normale.")
THEN TEXT ("On soupçonnait la présence de boue
au fond de la cuve.
D'après votre observation, il n'y en a pas.

L'expertise actuelle ne permet pas de diagnostiquer
la raison de la température élevée ou de l'instabilité.

Aucune action à prendre pour le moment.")
endRule

Facets
@triplet = {alimentateur1}.poids_ecart. @float
@datasource = poids_ecart_1
endFacets

Facets
@triplet = {alimentateur1}.poids_moy. @float
@datasource = poids_moy_1
endFacets

Facets
@triplet = {alimentateur2}.poids_ecart. @float
@datasource = poids_ecart_2
endFacets

Facets
@triplet = {alimentateur2}.poids_moy. @float
@datasource = poids_moy_2
endFacets

Facets
@triplet = {alimentateur3}.poids_ecart. @float
@datasource = poids_ecart_3
endFacets

Facets
@triplet = {alimentateur3}.poids_moy. @float
@datasource = poids_moy_3
endFacets

Facets

@triplet = {alimentateur4}.poids_ecart. @float
@datasource = poids_ecart_4
endFacets

Facets
@triplet = {alimentateur4}.poids_moy. @float
@datasource = poids_moy_4
endFacets

Facets
@triplet = alimentateur11.alumine.tombe
@question = alumine_tombe_1
endFacets

Facets
@triplet = alimentateur11.alumine.tombe2
@question = alumine_tombe_1
endFacets

Facets
@triplet = alimentateur22.alumine.tombe
@question = alumine_tombe_2
endFacets

Facets
@triplet = alimentateur22.alumine.tombe2
@question = alumine_tombe_2
endFacets

Facets
@triplet = alimentateur33.alumine.tombe
@question = alumine_tombe_3
endFacets

Facets
@triplet = alimentateur33.alumine.tombe2
@question = alumine_tombe_3
endFacets

Facets
@triplet = alimentateur44.alumine.tombe
@question = alumine_tombe_4
endFacets

Facets
@triplet = alimentateur44.alumine.tombe2
@question = alumine_tombe_4
endFacets

Facets
@triplet = alumine.ecoulement.tres_faible
@question = ecoulement_faible
endFacets

Facets
@triplet = alumine.granulometrie.sup_1
@question = granulometrie_alumine
endFacets

Facets
@triplet = anodes.changement.autour_casseur
@question = anodes_autour_casseur
endFacets

Facets
@triplet = bain.alf3.deversement
@question = b_ratio_alumine_tombe
endFacets

Facets
@triplet = bain.alf3.tremie_obstruee
@exclusive = b_ratio
@question = b_ratio_tremie_bloque
endFacets

Facets
@triplet = bain.alf3.tremie_vide

```

@exclusive = b_ratio
@question = b_ratio_tremie_bloque
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
boue.localisee.sous_anodes_changees
@question = boue_localisee
endFacets

```

```

Facets
@triplet = boue.presence.fond_cuve
@question = boue_presence_fond
endFacets

```

```

Facets
@triplet = charge_a_terre.duree.plus_1_heure
@question = duree_charge_a_terre
endFacets

```

```

Facets
@triplet = controleur.casseurs.fonctionnent
@question = m2_test_controleur
endFacets

```

```

Facets
@triplet = controleur.etat.fonctionnement
@question = fonctionnement_controleur
endFacets

```

```

Facets
@triplet = controleur.etat.fonctionnement_2
@question = fonctionnement_controleur
endFacets

```

```

Facets
@triplet = controleur.p457.a_jour
@question = controleur_prog_457
endFacets

```

```

Facets
@triplet = cuve.instable.longtemps
@question = cuve_instable_longtemps
endFacets

```

```

Facets
@triplet = cuve.temperature_elevee.longtemps
@question = temp_elevee_longtemps
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.etat.manuel
@question = eam
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.etat.provoque
@question = ea_q_provoque
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.inspection.autre_situation
@exclusive = ea_inspection
@question = ea_q_inspection
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.inspection.l_alimentation_est_normale
@exclusive = ea_inspection
@question = ea_q_inspection
endFacets

```

```

Facets

```

```

@triplet =
effet_anodique.inspection.un_alimentateur_ne_fonctionne_pas
@exclusive = ea_inspection
@question = ea_q_inspection
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.inspection.un_trou_est_bloque
@exclusive = ea_inspection
@question = ea_q_inspection
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.niv_bain.baisse
@question = ea_baisse_anodes
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.niv_plan.mcinq_quatre
@question = niv_plan_2
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.niv_plan.mcinq_zero
@question = niv_plan_1
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.niv_plan.sup_4
@question = n_niv_plan
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.niveau.plan_zero
@question = ea_q_niveau
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.ordi.signale_fin
@question = ea_ordi_fin
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.precedent.difficile
@question = ea_difficile
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.resultat.d_slo
@question = d_slo_resultat
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.resultat.p_slo
@question = p_slo_resultat
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.slo.premis
@question = ea_q_slo
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.slo.premis_2
@question = ea_q_slo_premis
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.stabilite.cuve
@question = ea_q_stabilite
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.stabilite.voltage
@question = ea_stabilite

```

```

endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.voltage.court_circuit
@exclusive = voltage_cuve
@question = voltage_cuve
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.voltage.encore_effet_anodique
@exclusive = voltage_cuve
@question = voltage_cuve
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.voltage.moins_de_8_V
@exclusive = voltage_4
@question = voltage_4
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.voltage.plus_de_8_V
@exclusive = voltage_4
@question = voltage_4
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.voltage.voltage_normal
@exclusive = voltage_cuve
@question = voltage_cuve
endFacets

```

```

Facets
@triplet = effet_anodique.voltage_3.court_circuit
@exclusive = voltage_3
@question = voltage_cuve_3
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.voltage_3.encore_effet_anodique
@exclusive = voltage_3
@question = voltage_cuve_3
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.voltage_3.forte_instabilite
@exclusive = voltage_3
@question = voltage_cuve_3
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
effet_anodique.voltage_3.voltage_normal
@exclusive = voltage_3
@question = voltage_cuve_3
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
fonctionnement.cuve.alimente_seulement
@exclusive = fonctionnement_cuve
@question = fonctionnement_cuve
endFacets

```

```

Facets
@triplet = fonctionnement.cuve.autre_situation
@exclusive = fonctionnement_cuve
@question = fonctionnement_cuve
endFacets

```

```

Facets

```

```

@triplet = fonctionnement.cuve.normal
@exclusive = fonctionnement_cuve
@question = fonctionnement_cuve
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
fonctionnement.cuve.remise_en_charge
@exclusive = fonctionnement_cuve
@question = fonctionnement_cuve
endFacets

```

```

Facets
@triplet = fonctionnement.cuve.siphonnage
@exclusive = fonctionnement_cuve
@question = fonctionnement_cuve
endFacets

```

```

Facets
@triplet = ordi_central.interruption.longue_duree
@question = interruption_longue_duree
endFacets

```

```

Facets
@triplet = ordi_central.probleme.corrige
@default = 0.000000
@question = Prob_ordi_central_corrige
endFacets

```

```

Facets
@triplet = ordi_central.reamorcer.fonctionne
@question = ordi_central_reamorcer_fonctionne
endFacets

```

```

Facets
@triplet = PEP.etat.fonctionnement_2
@question = fonctionnement_PEP
endFacets

```

```

Facets
@triplet = PEP.test.fonctionnement_2
@question = m2_pep_fonctionne
endFacets

```

```

Facets
@triplet = PEP.test.resultat
@question = fonctionnement_PEP
endFacets

```

```

Facets
@triplet = petit_silo.alumine.entree
@question = petit_silo_alumine_entree
endFacets

```

```

Facets
@triplet = petit_silo.alumine.niveau_normal
@question = niveau_alumine_petit_silo
endFacets

```

```

Facets
@triplet = petit_silo.etat.niveau_normal
@question = niveau_alumine_petit_silo
endFacets

```

```

Facets
@triplet =
pression.demarrage.deuxieme_compresseur
@question = pression
endFacets

```

```

Facets
@triplet = tremie.alumine.vide
@question = tremie_vide
endFacets

```

```

Facets
@triplet = trou.bloque.plusieurs

```

```

@question = trou_bloque
endFacets

```

```

Facets
@triplet = valise.etat.fonctionne
@question = valise_fonctionnement
endFacets

```

```

Facets
@triplet = voltage.etat.eleve
@question = voltage_eleve
endFacets

```

```

!*** LoadStrategy must go at the end of the
Knowledge Base ***!
LoadStrategy
@name = "cuve6b.stg"
EndLoadStrategy

```

ANNEXE 4

Liste de vérifications

* * Répondez aux questions suivantes en encerclant * *
 * * OUI ou NON * *

- 1- L'aéroglossière de la cuve transporte-t-elle
 de l'alumine ? OUI NON
- 2- Y a-t-il une pression d'air à l'intérieur
 de l'aéroglossière de la cuve ? OUI NON
- 3- Est-ce que les trémies se remplissent ? OUI NON
- 4- Est-ce que le manomètre situé au bout contrôle
 indique une pression d'air ? OUI NON
- 5- La lampe rouge sur le mur du côté contrôle
 est-elle allumée ? OUI NON
- 6- Le petit silo est-il plein ? OUI NON
- 7- Y a-t-il de l'alumine dans
 l'aéroglossière extérieure ? OUI NON
- 8- Y a-t-il de l'alumine dans le filtre près
 du réservoir d'alumine fluorée ? OUI NON
- 9- Le niveau d'alumine dans le réservoir
 d'alumine fluorée est-il bas ? OUI NON

* * * Quand toutes les questions sont répondues * * *
 * * * entrez les réponses dans le système expert. * * *

* * Répondez aux questions suivantes en encerclant * *
* * OUI ou NON * *

- 1- Y a-t-il de l'alumine dans
l'aéroglossière extérieure ? OUI NON
- 2- Y a-t-il de l'alumine dans le filtre près
du réservoir d'alumine fluorée ? OUI NON
- 3- Le niveau d'alumine dans le réservoir
d'alumine fluorée est-il bas ? OUI NON

* * * Quand toutes les questions sont répondues * * *
* * * entrez les réponses dans le système expert. * * *

* * Répondez aux questions suivantes en encerclant * *
* * OUI ou NON * *
* * ou inscrivez la valeur numérique si nécessaire * *

- 1- Quel est le niveau de bain d'électrolyse en cm ? .
- 2- Quelle est la température du bain en °C ?
- 3- Y a-t-il de fortes éclaboussures de bain ? OUI NON
- 4- La pression d'air est-elle
supérieure à 70 lbs/po² ? OUI NON
- 5- L'usure du casseur est-elle avancée ? OUI NON
- 6- Y a-t-il eu un changement d'anodes dans les
12 dernières heures autour de ce casseur ? OUI NON
- 7- Le ratio du bain est-il supérieur à 1.20 ? OUI NON

* * * Quand toutes les questions sont répondues * * *
* * * entrez les réponses dans le système expert. * * *

* * Répondez aux questions suivantes en encerclant * *
* * OUI ou NON * *

- 1- Est-ce que vous voyez une flamme sortir
du trou du casseur ? OUI NON
- 2- Est-ce que le casseur ressort de la croûte
avec une couleur rouge ? OUI NON
- 3- Est-ce qu'il y a un bouillonnement d'alumine
dans le trou du casseur ? OUI NON

* * * Quand toutes les questions sont répondues * * *
* * * entrez les réponses dans le système expert. * * *

* * Inscrivez le poids en kg des quatres * *
* * échantillons d'alumine pour chaque alimentateur. * *

Alimentateur no. 1: 1- 2- 3- 4-

Alimentateur no. 2: 1- 2- 3- 4-

Alimentateur no. 3: 1- 2- 3- 4-

Alimentateur no. 4: 1- 2- 3- 4-

* * * Quand toutes les questions sont répondues * * *
* * * entrez les valeurs dans le système expert. * * *

* * Répondez aux questions suivantes en encerclant * *
* * OUI ou NON * *

- 1- Dans la cuve avez-vous remarqué un problème sur
les alimentateurs ou sur les trous de casseurs ? . OUI NON
- 2- Les casseurs sont-ils actionnés ? OUI NON
- 3- Le PEP fonctionne-t-il ? OUI NON
- 4- La lampe rouge est-elle allumée ? OUI NON
- 5- La lampe blanche est-elle allumée ? OUI NON

* * * Quand toutes les questions sont répondues * * *
* * * entrez les réponses dans le système expert. * * *

ANNEXE 5

Programme en langage Basic pour impression des listes

```
10 OPEN "c:\comdale\A1.txt" FOR INPUT AS #1
20 OPEN "lpt1:" FOR OUTPUT AS #2
30 PRINT #2,CHR$(15)
40 FOR I=1 TO 40
50 V=EOF(1)
60 IF V=-1 THEN GOTO 100
70 INPUT #1,N$
80 PRINT #2,N$
85 PRINT N$
90 NEXT I
100 PRINT #2,CHR$(12)
110 CLOSE #1
120 CLOSE #2
130 SYSTEM
```