

# LA NORME S88.02 : UN LANGAGE POUR LE CONTRÔLE DES PROCÉDÉS BATCH

Jean Vieille

Consultant

4, rue des Ecrivains BP46 - 67061 Strasbourg cedex

[jean-vieille@usa.net](mailto:jean-vieille@usa.net) <http://www.jvieille.homepage.com>

---

## Résumé

Dans la foulée de la norme S88.01 traitant du contrôle des procédés discontinus, le projet de norme S88.02 propose un modèle de données pour interfacer les applications et échanger les recettes et un langage de description de la Recette, le PFC (pour « Procedure Function Charts ») qui repose sur le modèle de données. Ce langage vise la réduction de la courbe d'apprentissage des nouveaux systèmes et l'amélioration de la communication entre l'Homme et le Système. Cette présentation présente un aperçu du développement et des règles d'utilisation du PFC ainsi que les bénéfices attendus par leur adoption dans l'industrie.

## La spécificité des procédés discontinus

Par opposition aux procédés de type Discret (manufacturier) et continus (énergie, pétrochimie...), on distingue les procédés de type **Discontinu** ou **Batch** par les caractéristiques suivantes :

- Ils opèrent selon un cycle au cours duquel des quantités déterminées de matière sont transformées en produit fini,
- La taille des équipements détermine directement la production du cycle,
- Le produit fabriqué dépend de la Procédure exécutée par le cycle appuyé par les fonctions élémentaires de chaque équipement.
- Il s'agit souvent d'ateliers « flexibles » ou multi-produits.

La chimie, l'agroalimentaire et la pharmacie représentent l'essentiel de ces procédés. La dernière contrainte de flexibilité ajoutée à la complexité relative du contrôle de base des équipements a amené le développement d'une réflexion particulière sur la stratégie de contrôle de ces ateliers : la norme S88.01

## La norme S88.01

La norme IEC 61131-3 définit des langages de programmation adaptés au contrôle de base des équipements du procédé. Essentiellement conceptuelle, la norme ANSI/ISA S88.01 / IEC 61512-1 (que nous appellerons « S88 » dans la suite de l'exposé) apporte un niveau supérieur au contrôle de procédé : la flexibilité de

l'allocation des ressources et de la stratégie de contrôle. Elle découple les domaines et les responsabilités du contrôle de base des équipements vis-à-vis de la spécification du procédé de fabrication et de l'allocation des ressources (la Recette). Elle peut également s'appliquer à d'autres types de procédés (voir les travaux EBF WG3).

## Equipements et Recette

La norme S88.01 sépare le contrôle en deux domaines de responsabilité :

- Le contrôle des équipements
- La Recette

Le premier domaine est celui de l'Automatique. Le contrôle de l'équipement est par définition indépendant du produit à fabriquer. Il fournit les ressources fonctionnelles de base pour construire la stratégie de fabrication (transformations, transferts d'énergie et de matières).

Le second domaine est celui du Procédé. Il utilise les ressources fonctionnelles des équipements pour accomplir la stratégie de fabrication du produit.

La frontière entre ces domaines définit directement le degré de flexibilité de l'atelier et attribue les responsabilités correspondantes à l'Automaticien d'un côté, au gestionnaire et à l'ingénieur procédé de l'autre.

La Recette est composée de 5 éléments :

- Entête
- Procédure
- Formule (Paramètres, Entrées et Sorties Procédé)
- Exigences Equipements
- Autres Informations

## Hiérarchie de la Procédure

Le contrôle procédural de la norme S88.01 repose sur 4 niveaux hiérarchiques :

- Procédure
- Procédure Unité

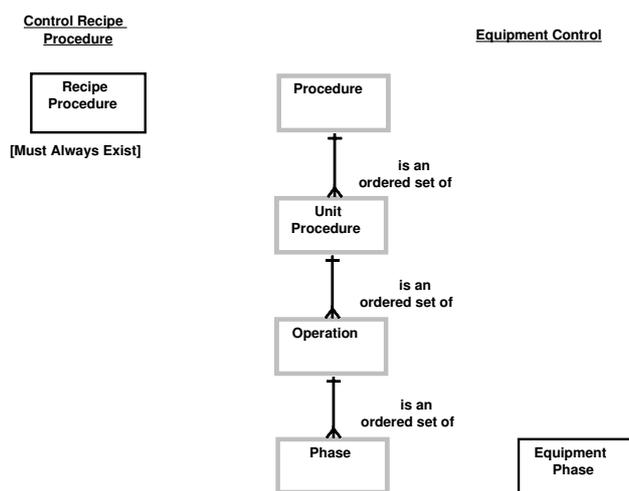
- Opération
- Phase

Une Procédure est composée de Procédures Unité elles-mêmes composées d'Opérations... Des niveaux peuvent être omis, des niveaux complémentaires peuvent être ajoutés. Ces éléments procéduraux sont appelés de façon générique :

- Élément Procédural Recette ou RPE pour la stratégie de fabrication
- Élément Procédural Equipement ou EPE pour le contrôle des équipements

On pourra définir des Procédures Recette, Procédure Equipement, Procédures Unité Recette, Procédures Unité Equipement, Opérations Recette, Opérations Equipement, Phases Recette et Phases Equipement.

La séparation entre le domaine de la Recette et le domaine de l'Equipement est du ressort de l'implémentation. Toutefois, la plupart des systèmes de pilotage de Recettes imposent un couplage au niveau de la Phase. (Figure 1)



**Figure 1 – Distribution du contrôle procédural entre Recette et Equipement (ISA S88.01 1995)**

### Types de Recettes

La norme S88.01 propose 3 types de Recettes selon le niveau de détail et l'utilisation :

- Recette Générale
- Recette Site
- Recette Maître

Seule la dernière peut donner naissance à une Recette exécutable, la Recette Contrôle. Les autres Recettes ont d'autres objectifs liés à la création des produits et à la planification. Le rapport ISA TR88.03 préconisait le développement d'un langage adapté aux trois types de Recettes, mais cet objectif a été abandonné entre temps. La situation au niveau des Recettes de niveau supérieur est loin d'être claire, et ce problème est placé dans les

priorités d'action du groupe SP88 pour les prochains projets de norme.

### Contexte général

La norme S88.01 définit le terme Procédure comme « la stratégie pour exécuter un procédé », mais les règles pour spécifier cette Procédure ne sont pas définies. C'est une lacune importante de la première partie de la norme : elle était intentionnelle du fait des opinions variées au sein du comité à cette époque. Le comité SP88 reconnaissait qu'il s'agissait d'un problème important et adopta les 2 résolutions suivantes :

- Etablissement d'un rapport sur les formats possibles de représentation des Procédures,
- Définition d'une méthode pour la description de la Recette dans la seconde partie de la norme.

Le rapport technique ISA-TR88.0.03 fut publié en 1997. Le travail sur la seconde partie se poursuit après la publication de ce rapport, et une méthode normalisée pour décrire la logique procédurale des Recettes est exposée dans la section 6 du projet de norme S88.02<sup>[1]</sup> « Procedure Function Charts ».

La notation PFC a été développée en utilisant des éléments des trois formats discutés dans le rapport technique : Liste, Gantt et SFC (Sequential Function Charts). A première vue, la notation PFC est proche du SFC, mais plusieurs aménagements ont été développés pour tenir compte des spécificités d'exécution et de documentation du contrôle procédural vis-à-vis du contrôle séquentiel.

La méthode choisie pour la description de la Recette ne prend en compte que la Procédure : L'en-tête, les Exigences Equipements, la formule et les autres informations ne sont pas traités. Par définition, la Procédure supporte la structure de la Recette à laquelle se rattachent obligatoirement les autres catégories d'information. Ces informations ne sont pas normalisées au-delà de la nécessité d' « indiquer clairement et de façon consistante pour une application donnée leur relation avec la Procédure »[.].

Les bénéfices attendus d'une méthode normalisée de description de la Procédure sont :

- Permettre l'échange des Recettes entre systèmes (en validant les structures de données proposées dans la norme S88.02)
- Réduire la courbe d'apprentissage des utilisateurs d'un système à l'autre
- Fournir une base commune de dialogue entre les utilisateurs et les fournisseurs

L'aspect normatif de la notation PFC n'impose pas son utilisation exclusive. Il est reconnu que des méthodes alternatives pourront être préférées en fonction des caractéristiques de la Procédure (taille, complexité, exigences particulières de l'utilisateur...).

## Les objectifs

Un langage est un ensemble de symboles et de règles utilisés pour communiquer. Dans le cas des systèmes d'information, ils permettent à l'homme de dialoguer avec la machine pour décrire la tâche que la machine doit exécuter et en contrôler son exécution.

La définition précise des objectifs et des contraintes est essentielle pour guider le développement. La liste suivante est partiellement mentionnée en annexe du projet ISA-dS88.02[ :

- *Simple à suivre* : il s'agit d'un langage de spécification destiné à être utilisé par des non-informaticiens et non-automaticiens
- *Facile à construire* : peu d'exigences de syntaxe et de symboles à apprendre
- *Limites clairement définies* : symboles graphiques normalisés de Début et de Fin
- *Description de l'ordre d'exécution non ambiguë* : séquence, parallélisme, sélection, convergence...
- *Expression des relations de coordination* : transfert de matières et synchronisations
- *Support des Niveaux hiérarchiques* : symboles uniques, mais différenciés pour tous les niveaux de la Procédure
- *Support multi-niveaux* : mise en évidence de la décomposition possible d'un élément de Procédure
- *Applicable aux Recettes Maître et Contrôle*. Le traitement des Recettes de haut niveau n'est pas retenu pour le PFC.
- *Indépendant du média* : utilisable aussi bien pour une implémentation « papier-crayon » qu'avec un ordinateur capable d'animations graphiques colorées.
- Le langage doit permettre de fournir tous les détails nécessaires pour décrire de façon non ambiguë la stratégie de fabrication. A ce titre, il doit donc supporter le modèle d'échange de données défini dans les sections 4 et 5 de la norme S88.02.
- La capacité d'extension est induite par l'exigence d'une description non ambiguë. Dans les cas les plus simples, la Procédure peut ne comporter qu'un seul Élément Procédural Recette (RPE) ou une simple liste exécutée séquentiellement. Dans les cas complexes, des logiques conditionnelles et des contraintes de temps peuvent intervenir.

## Comparaison des méthodes existantes et proposées

Sur la base des objectifs et contraintes ci-dessus, le comité reconnu que le rapport technique fournissait une analyse précise des options possibles, incluant la plupart des méthodes utilisées par les systèmes de contrôle batch du marché. Ces méthodes sont les suivantes :

## Liste d'instruction

C'est la forme la plus simple pour la représentation d'une séquence linéaire (Figure 2). La liste présente l'avantage d'être facile à visualiser.

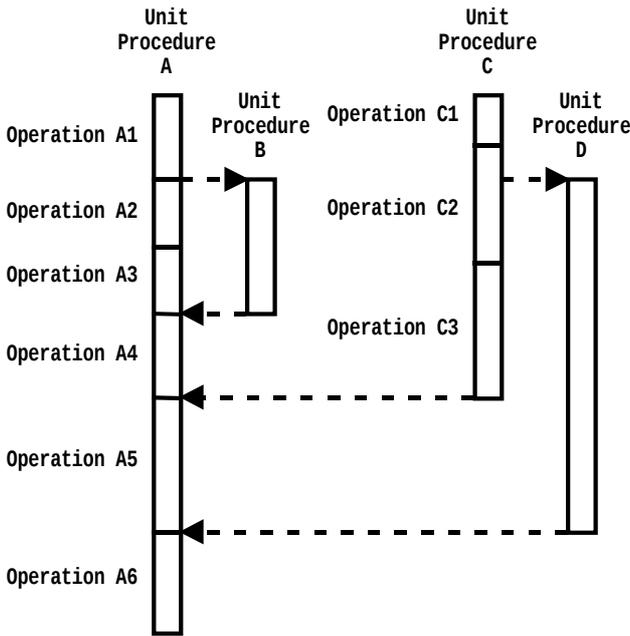
N°	1. Fill with 1000 kg Water
1	2. Manually add 50 kg Salt
2	3. Heat with steam to 50 °C
3	4. Manually add 30 kg sugar
4	

Historiquement, la plupart des Procédures Recettes ont été décrites de cette façon. Ces Recettes présentaient à l'opérateur une liste numérotée d'étapes à exécuter. S'il est convenable pour des situations simples, ce format n'est pas utilisable dans des cas plus complexes : les parallélismes et séquences complexes avec logique conditionnelle sont très difficiles à décrire clairement avec ce format. L'exemple de la Figure 3 montre à quoi pourrait ressembler une approche textuelle. Il s'agit d'une proposition de langage d'échange « BxL » pour l'échange de données de Recette (non retenu à ce jour). Cette forme évoluée bien adaptée pour la communication entre ordinateurs n'est à l'évidence pas utilisable pour un dialogue efficace avec un être humain...<sup>[2]</sup>

```
RPE "Master Recipe" SugarCookies IS
HEADER
  Author "J. Smith"
  Version "dSP88.02-WG4.A"
END HEADER
FORMULA
  Water IS 40 "Gallons" WITHIN 38..42
  Sugar IS 10 "Lbs" WITHIN 9..11
  Flour IS 10 "Lbs" WITHIN 9.9..10.1
END FORMULA
EQUIPMENT REQUIREMENTS END
OTHER INFORMATION END
DEFINE RPE "Procedure"
DEFINE RPE "Operation" FILL
  USES EPE waterFill (lbs)
  USES EPE flourFill (lbs)
  USES EPE sugarFill (lbs)
  DEFINE RPL waterFull AS waterFill.done END
  DEFINE RPL flourFull AS flourFill.done END
  DEFINE RPL sugarFull AS sugarFill.done END
FROM INITIAL TO waterFill (Water)
FROM waterFill TO waterFull
FROM waterFull TO flourFill (Flour)
FROM flourFill TO flourFull
FROM flourFull TO sugarFill (Sugar)
END
USES EPE "Operation" Mix
DEFINE RPE "Operation" HEART
. . .
END
TRANSITION FROM INITIAL TO Fill ON TRUE END
TRANSITION FROM Fill TO Mix ON
waterFill.done AND flourFill.done AND
sugarFill.done END
TRANSITION FROM Mix TO HEAT ON . . .END
END
```

Figure 3 - Langage Littéral

**Diagramme de Gantt (modifié)**



**Figure 4 - Diagramme de Gantt modifié**

Les diagrammes de Gantt sont très utiles pour décrire la progression des activités dans le temps. Ils peuvent également montrer de niveaux multiples d'activités. Outils de base de la planification, ils sont relativement bien adaptés pour la description de Procédures Recettes qui consistent en une ou plusieurs Procédures Unité opèrent de façon plus ou moins indépendante avec des points de coordination.

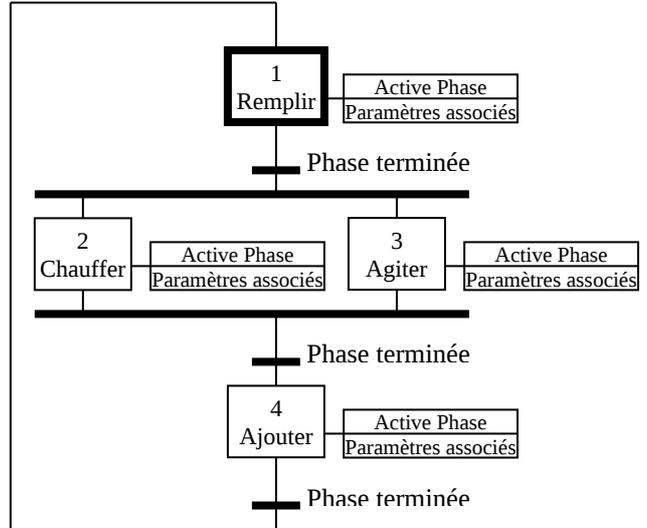
Le diagramme de la Figure 4 présente quelques particularités :

- Le déroulement vertical qui se prête mieux à un nombre d'activités successives plus important que les activités parallèles et qui suit la logique du format liste ou du SFC
- Les liens de coordination entre Procédures Unité
- Le découpage des Procédures Unité en Opérations
- Une base de temps relative et non absolue du fait que l'instant de lancement des activités et leur durée ne sont pas connus de manière déterministe avant leur exécution

Toutefois, lorsqu'une logique conditionnelle complexe doit être introduite, le diagramme de Gantt perd son efficacité. Les systèmes de planification utilisent alors les diagrammes de Pert pour traiter ce type d'information et gérer les situations complexes avec des prédécesseurs et des successeurs multiples. Si les diagrammes de Pert sont efficaces pour les systèmes de planification sophistiqués, ils ne sont guère adaptés à la conduite d'une unité de fabrication.

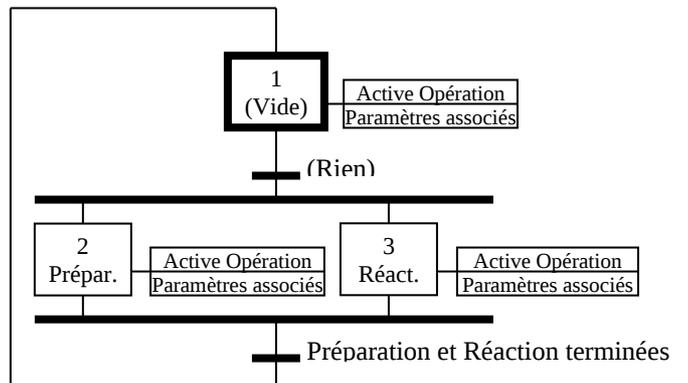
**SFC**

La troisième méthode discutée dans le rapport technique est le Sequential Function Chart (SFC) défini par la norme IEC 61131-3 et basé sur la norme IEC 60848 (GRAFCET). C'est un langage largement répandu et bien accepté. Il offre des moyens puissants pour spécifier la logique conditionnelle, ce qui manque aux précédentes méthodes de type Liste ou Gantt. On note que la plupart des systèmes batch actuels utilisent le SFC pour décrire les Procédures. La Figure 5 montre l'exemple d'une Opération qui active des Phases.



**Figure 5 - Représentation SFC d'une Opération**

Le graphe SFC décrit bien la logique conditionnelle souvent nécessaire au niveau de l'Opération. Au niveau supérieur de la Procédure toutefois, cette capacité a peu d'intérêt. La Figure 6 montre deux Procédures Unité actives simultanément. Dans ce cas, on ne dispose pas d'information concernant les flux matières, la synchronisation entre les Procédures Unité et leur déroulement général relatif dans le temps. Par exemple, la Procédure Unité *Réaction* n'est pas supposée démarrer avant que la Procédure Unité *Préparation* n'ait atteint une certaine situation. Le graphe ne montre pas cela parce qu'il doit placer toutes les Procédures Unité dans la même structure séquentielle parallèle.



**Figure 6 – Représentation SFC d'une Procédure Unité**

## **En conclusion**

Chaque approche présente des avantages et des inconvénients, et le rapport ne conclut pas sur une recommandation. Deux autres problèmes n'ont pas été mentionnés par le rapport, bien qu'ils soient critiques pour la description de la Recette : l'utilisation de niveaux multiples dans la hiérarchie et la séparation entre les Eléments Procéduraux Equipement et Recette.

## **Autres apports**

Chaque constructeur de système ou éditeur de solutions pour le contrôle batch a développé son propre langage. Cette diversité des approches qui provoque la confusion des utilisateurs a été un élément moteur pour le développement du PFC. Les acteurs majeurs ont participé à l'élaboration de ce langage. Chacun s'est battu pour conserver les atouts de sa propre solution dans la norme.

Pendant cette évaluation, d'autres travaux ont été étudiés. On doit signaler par exemple les travaux remarquables de Karl-Erik Arzen et Charlotta Johnsson sur le « High Level Grafchart ». Ils proposent une évolution sans compromis du Grafcet vers une forme objet et démontrent son application dans le contrôle discontinu <sup>[3] [4] [5] [6]</sup>.

Les travaux de révision de la norme IEC 60848-1988 pour permettre de spécifier de multiples niveaux de graphe offraient également un champ de réflexion intéressant <sup>[7] [8] [9]</sup>

La notation résultante du Procedure Function Chart s'est inspirée du High-Level Grafchart et des modifications proposées pour la norme IEC 60848.

### **Développement des « Procedure Function Charts »**

Cette évaluation concluait donc qu'aucune méthode existante ne convenait pour répondre à tous les objectifs et contraintes énoncés à tous les niveaux et pour tous les degrés de complexité des Procédures. Par contre, il était reconnu que chacune des méthodes discutées dans le rapport technique avait des caractéristiques intéressantes qui, combinées entre elles, pouvaient contribuer à définir une nouvelle méthode efficace. Il était également reconnu qu'une méthode similaire à celle proposée par la révision des macro-étapes de la norme IEC60848 permettrait de supporter les niveaux multiples dans la Recette.

La notation PFC a été développée et révisée sur une période de 4 années marquées par des faux départs et des marches arrières. Chaque fois que de nouveaux membres se joignaient au comité, de nouvelles discussions et de nouvelles alternatives surgissaient. Il s'avéra impossible de développer une méthode satisfaisante dans l'esprit de chacun. Compromis et concessions ont été le terrain du consensus sur la méthode de description retenue.

En guise de parcours simplifié du processus de développement de la notation PFC, il peut être utile de considérer quelques éléments qui ont guidé sa genèse :

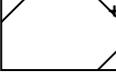
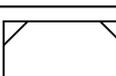
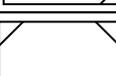
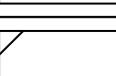
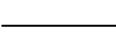
- L'influence du format Liste est visible dans le principe des Transitions Implicites (discutées plus loin) qui permet de décrire une simple liste d'Eléments Procéduraux.
- La capacité du diagramme de Gantt à représenter la notion de durée et la synchronisation apparaît dans la possibilité de dessiner des éléments procéduraux de longueur fonction de leur durée relative.
- L'influence du SFC est évidente : Utilisation de sélections de séquences et de séquences simultanées, alternance Transition – Etape – Transition.
- Bien que le terme “Macro Etape” ne soit pas utilisé, le concept mis en avant par le projet de révision de la norme IEC60848 est reflété dans la notation PFC.
- La séparation entre la logique de la Recette et celle de l'Equipement a conduit à définir une spécification particulière pour l'activation et l'évaluation des Transitions.  
  
Il existe une différence fondamentale entre la logique procédurale de la Recette et la logique séquentielle de l'entité d'équipement. La logique d'équipement, quel que soit le langage, doit toujours être responsable de la conclusion de son traitement. La décision de l'entité d'équipement peut être basée sur des signaux externes sans filtrage interne, par contre, la capacité de la logique d'équipement à traiter ses tâches ménagères ou d'autres activités lors d'une demande de fin d'exécution est critique. C'est la ligne de raisonnement qui a conduit à définir un comportement différent de la relation RPE-Transition du PFC de la relation Etape-Transition du SFC.
- Les spécificités Process telles que l'allocation des ressources, les transferts de matières, la synchronisation et les activités asynchrones sont prises en compte par la notation PFC.
- La Procédure Recette doit montrer l'orchestration de Procédures Unité relativement indépendantes même lorsqu'elles se décomposent en éléments de niveau inférieur (Opérations, Phase).

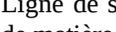
### Notation du « Procedure Function Chart »

La notation présentée ici est définie dans le projet de norme ISA-88.02 dans son état au moment où ce papier est rédigé. Il est possible que cette notation soit modifiée avant que ce projet ne soit confirmé comme norme ANSI/ISA et IEC à l'issue du processus d'approbation actuellement en cours. Les indications fournies devront donc être confrontées à la publication officielle en cas de référence future.

L'objectif de cette présentation n'est pas de proposer une référence complète du langage PFC qui devrait fait l'objet de publications ultérieures. Il s'agit d'une brève vue d'ensemble de la notation au travers de quelques exemples.

Les symboles utilisés dans la notation PFC sont les suivants :

	Début
	Fin
	Procédure Recette - contient PFC de niveau inférieur
	Procédure Unité Recette - contient PFC de niveau inférieur
	Opération Recette - contient PFC de niveau inférieur
	Procédure Recette - référence une Procédure Equipement
	Procédure Unité Recette - référence Procédure Unité Equipement
	Opération Recette - référence Opération Equipement
	Phase Recette - référence Phase Equipement
	Allocation Ressource
	liaison directe
	Début et fin de sélection de séquences
	Début et fin de séquences simultanées
	Transition Explicite
	Point de synchronisation

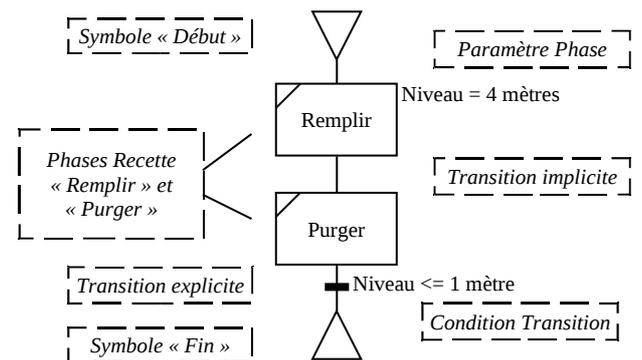
	Ligne de synchronisation
	Ligne de synchronisation avec transfert de matière

**Figure 7 – Symboles PFC**

### PFC « Procédure Opération »

Le plus bas niveau hiérarchique de la Procédure Recette est la Procédure Opération qui décrit les enchaînements des Phases Recette, elle-même couplées (au besoin) aux Phases Equipement. Ce cas limite où la Recette détermine les enchaînements procéduraux au plus bas niveau de la hiérarchie S88 correspond au niveau de couplage exclusif de la plupart des moteurs d'exécution batch.

La Figure 8 montre comment décrire une Opération simple de 2 Phases en utilisant les symboles PFC. Les symboles de Début et Fin indiquent où commence et où se termine l'exécution du PFC. Le diagramme est développé verticalement du début à la fin. Les liens directs connectent les différents symboles et déterminent l'ordre d'exécution du diagramme.



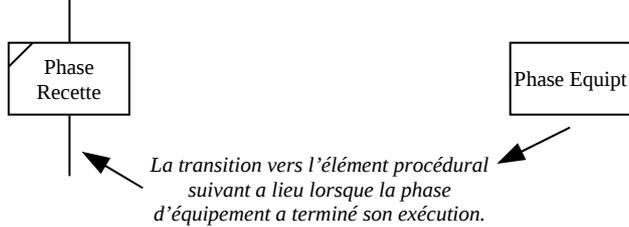
**Figure 8 – Procédure Opération PFC**

Les Phases Recette correspondent à des Phases Equipement qui peuvent être implémentées en logique programmée dans un contrôleur de procédé (processeur SNCC ou Automate). Ces 2 Phases sont représentées différemment pour mettre en évidence l'utilisation des Transitions Implicites et Explicites.

#### Transition Implicite

La Phase *Remplir* utilise une Transition Implicite. Elle est programmée de telle sorte qu'elle passe à l'état « Terminé » lorsqu'elle atteint son objectif (dans ce cas : atteindre le niveau de 4 mètres). Cet objectif a été défini en utilisant un paramètre transmis à la Phase au lieu d'une condition de Transition. La Phase suivante *Purger* doit démarrer dès que la Phase *Remplir* atteint son objectif. On considère dans ce cas qu'il n'est pas nécessaire de représenter une Transition entre ces 2 Phases : les Phases s'enchaînent naturellement par le seul jeu de leur exécution. Lorsqu'une Transition n'est pas décrite par

qu'elle correspond à la fin de l'élément procédural précédent sans aucune autre condition, elle est appelée Transition Implicite. La notion de Transition est maintenue dans le but de respecter la règle Etape-Transition-Etape de la norme IEC 61131-3.



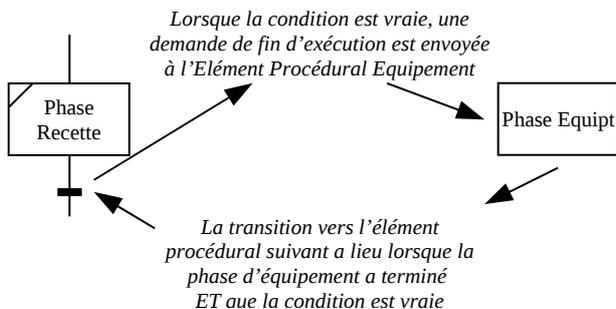
**Figure 9 –Transition Implicite**

La Figure 9 développe le concept de Transition Implicite. Par définition, la Transition Implicite est une convention qui autorise à ne pas représenter dans le PFC la condition « Élément Procédural Equipement Terminé ». Dans la plupart des applications batch, les Eléments Procéduraux Equipement sont programmés par l'automaticien pour être lancés par la Procédure Recette et poursuivent leur exécution en utilisant les paramètres de formule appropriés chargés avant l'exécution. Ceci est un problème critique du contrôle batch : l'Elément Procédural Equipement contrôle toujours lui-même sa fin d'exécution, même si une Transition Explicite du PFC la requiert. Ce mécanisme est naturel pour l'auteur de la Recette.

Il s'agit d'une différence majeure avec le SFC : lorsqu'une Transition est évaluée vraie, les étapes précédentes sont immédiatement terminées, et il n'existe aucune opportunité pour poursuivre les « tâches ménagères ». Une interruption soudaine des Eléments Procéduraux Equipement n'est pas adaptée aux applications batch, et on remarquera que beaucoup de systèmes utilisent une forme altérée du SFC pour contourner ce problème.

**Transition Explicite**

Dans le cas de l'exemple précédent, on aurait pu représenter une condition « Vraie » ou « Niveau atteint » ou « Phase de remplissage terminée ». Si une telle information est ressentie comme nécessaire, elle pourra être décrite à l'aide d'une Transition Explicite.



**Figure 10 –Transition Explicite**

Une Transition Explicite suit la Phase Recette *Purger*. Cette Phase est programmée dans l'équipement pour vider

le réacteur. Après que cette Phase ait été lancée, la logique de la Phase Equipement ne fermera la vanne de purge que lorsque l'ordre lui en aura été donné par l'exécution du PFC lorsque la Transition « Niveau <= 1 mètre » sera devenue vraie. La Phase ferme la vanne, effectue les actions nécessaires et passe à l'état « Terminé ». Le PFC franchit alors la Transition, atteint le symbole Fin, et conclut l'exécution de l'Opération

On voit que dans ce cas (enchaînement simple entre 2 éléments procéduraux) l'utilisateur a le choix d'utiliser une Transition Explicite ou Implicite avec les mêmes effets. La possibilité de choisir le type de Transitions implique une coordination entre l'automaticien qui développe la logique des Eléments Procéduraux Equipement et l'ingénieur qui décrit le procédé de fabrication.

La description des conditions attachées aux Transitions Explicites n'est pas imposée par la norme. Les applications peuvent utiliser des notations particulières ou faire référence à la norme IEC 61131-3.

**Règles de représentation et paramètres**

La norme n'impose pas de couleurs pour le diagramme ni de façon de représenter les paramètres. Ils doivent simplement être accessibles à partir de l'élément procédural correspondant.

**Début et fin**

Les premiers projets imposaient l'utilisation d'un seul symbole de départ et d'arrivée par graphe. L'utilisation de graphes à entrées et sorties multiples est désormais permise pour décrire des Procédures parallèles asynchrones avec évolutions multiples. C'est une nouvelle différence importante avec le SFC.

A la différence du SFC, il n'y a pas d'étape initiale. Celle-ci est unique dans le cas du SFC, alors que la notation PFC autorise l'exécution simultanée de plusieurs éléments procéduraux au lancement de la Procédure. Ceci est possible grâce au symbole de Début.

Ces symboles ne sont pas exécutés et ne supportent pas d'informations. Ils représentent seulement des positions.

**PFC « Procédure Unité »**

La Figure 11 représente une Procédure Unité qui détermine les enchaînements des Opérations. A ce niveau, l'élément procédural peut contenir un PFC de niveau inférieur (Opération Recette manipulant des Phases) ou référencer directement une Opération Equipement.

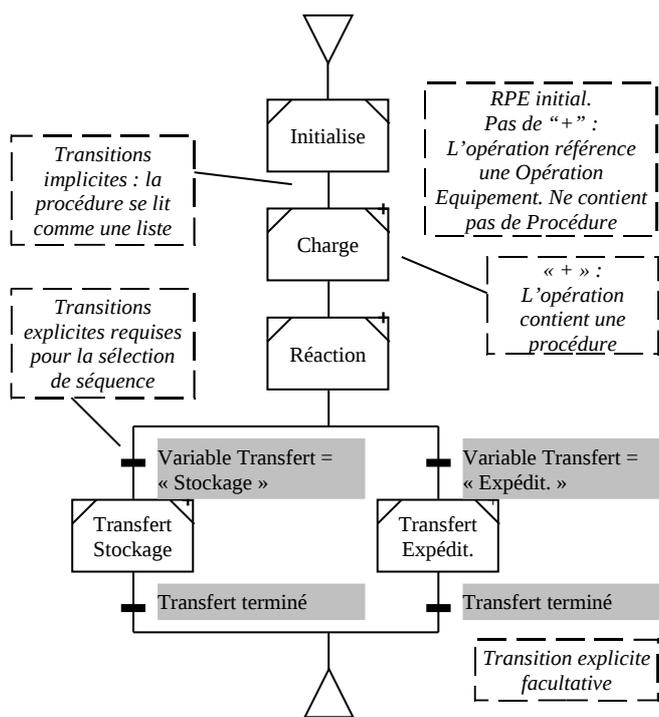


Figure 11 – Procédure Unité PFC

Le signe « + » placé dans le coin supérieur droit de l'élément procédural indique l'encapsulation d'un PFC de niveau inférieur. Par exemple, l'Opération *Initialise* référence une Opération Equipement, il ne contient donc pas de Phases Recette. Toutes les autres Opérations encapsulent des PFCs, et donc des Phases.

L'utilisation de Transitions Implicites après les Opérations *Initialise* et *Charge* permet une représentation concise : la première partie du graphe se lit comme une liste.

Les Transitions Explicites sous le symbole de sélection (barre horizontale) sont évidemment obligatoires.

### PFC « Procédure Recette »

Les besoins de descriptions de la Procédure Unité et de la Procédure Opération ne sont pas très différents. Par contre, la représentation de la Procédure Recette diffère sensiblement des 2 précédentes.

La Procédure Recette orchestre l'exécution d'activités asynchrones (par exemple les Procédures Unité) qui ont des points de synchronisation, des transferts de matières et des Exigences Equipements.

En tant que plus haut niveau de la Procédure, il est nécessaire de fournir le maximum d'information au plus au niveau d'abstraction possible. La Figure 12 présente un exemple d'une Procédure Recette simple.

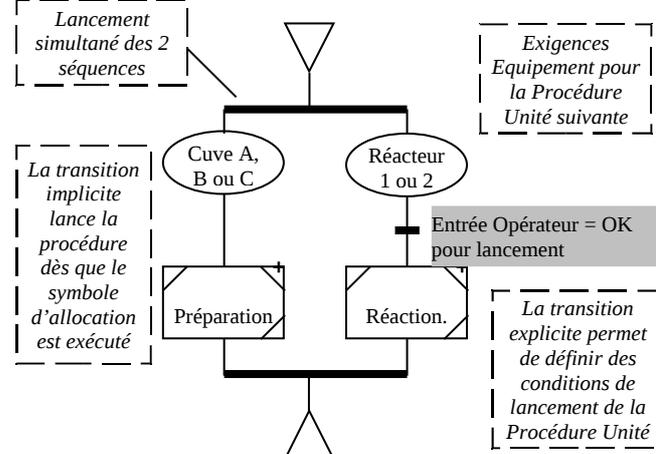


Figure 12 – Procédure Recette PFC

### Allocation des ressources

Le symbole d'allocation de ressources représente un élément procédural qui contient les Exigences Equipements (et autres ressources telles que personnel, matières, énergie) pour la Procédure Unité qui le suit. Il s'agit des règles d'allocation constituées par exemple d'une liste des équipements utilisables pour l'exécution de cette Procédure Unité. L'exécution de l'élément doit entraîner l'allocation des ressources nécessaires (en particulier les Modules Equipement) par un arbitrage manuel ou calculé par un système d'ordonnancement. La forme du symbole et son objectif sont normalisés, par contre le contenu est laissé à l'appréciation de l'implémentation.

Lorsqu'une Transition Explicite suit le symbole d'allocation, elle représente les conditions de lancement de la Procédure Unité. Dans notre exemple, la Procédure Unité *Préparation* démarre dès que l'élément d'allocation est exécuté, tandis que la Procédure Unité *Réaction* exige un acquiescement de l'opérateur pour démarrer.

Lorsque les 2 Procédures Unité sont terminées, le symbole de fin de séquences simultanées (convergence ET) permet au graphe d'atteindre le symbole Fin et l'exécution de la Recette se termine.

### Une représentation incomplète

La Figure 12 semble indiquer que les 2 Procédures Unité fonctionnent simultanément. Cette représentation est incomplète : en généralisant, toutes les Procédures Unité devraient être placées dans le même jeu de séquences parallèles. De plus, les points de synchronisation et les mouvements de matières ne sont pas représentés. La première solution qui vient à l'esprit pour tenter de résoudre ce problème serait de décrire les Procédures Unités en série comme dans une liste (Figure 13). Cette méthode ne convient pas, car elle impose des points de synchronisation tels que la première Procédure Unité soit terminée avant que la seconde puisse démarrer. Elle ne

résout pas non plus le problème de la description des transferts de matières.

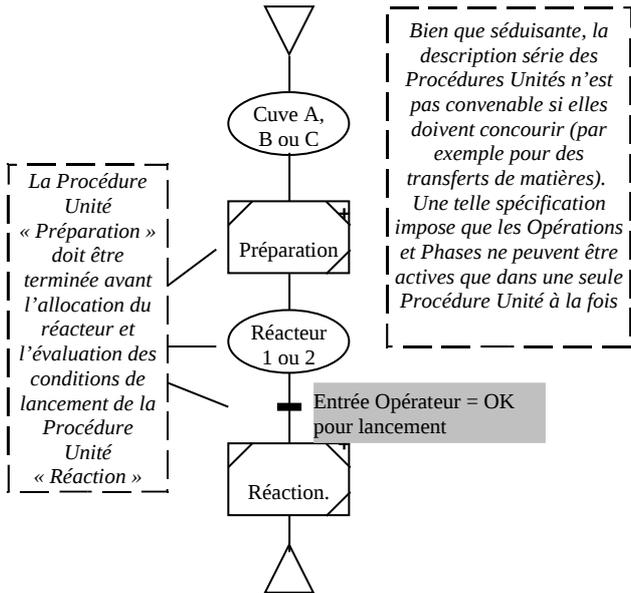


Figure 13- Procédure Recette "Série"

### Durée relative et Synchronisations

Le défi consistait donc à trouver une méthode capable de représenter une large structure de séquences simultanées. L'application des diagrammes de Gantt sur un axe vertical avec une échelle de temps relative le permettait.

On a tout simplement allongé les éléments procéduraux comme sur un diagramme de Gantt. La Figure 14 montre la même Procédure Recette « étirée » pour montrer les relations et points de synchronisation.

On peut noter que ni l'instant absolu de l'exécution d'un élément procédural ni sa durée ne sont connus dans la Recette (des informations statistiques de durée pour la planification et les calculs de coût prévisionnels pourraient éventuellement être récupérées). La longueur de l'élément procédural est donc purement relative et n'a pas de rôle fonctionnel.

La taille des 2 Procédures Unité est telle qu'elle permet de montrer que la Procédure Unité Préparation est d'abord lancée et qu'à un moment donné de son exécution, le processus d'allocation de la Procédure Unité Réaction est exécuté. Ensuite, lorsque l'opérateur a validé les conditions de démarrage, la Procédure Unité Réaction est démarrée. Plus tard, un peu avant la fin de la Préparation et un peu après le démarrage de la Réaction, un transfert matières s'effectue entre la cuve et le réacteur respectivement alloués à la Préparation et à la Réaction. Le transfert se poursuit pendant quelque temps et la Réaction se poursuit. Lorsque les 2 Procédures sont terminées, la Recette se termine.

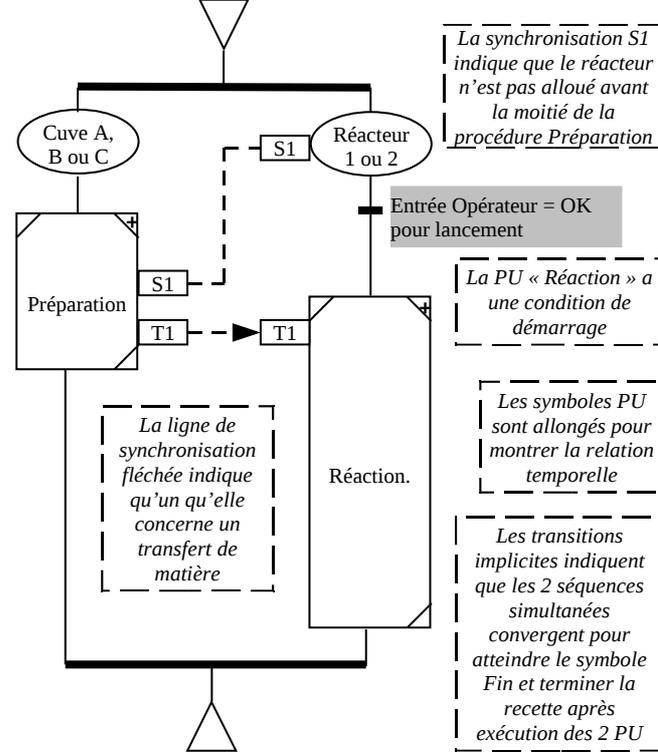


Figure 14 – Extension des Eléments Procéduraux et synchronisation

### Une représentation multi-niveaux plus précise

Bien que relativement vague sur les événements, la Figure 14 fournit plus d'information que la Figure 12. On peut aller plus loin en montrant plusieurs niveaux sur le même PFC comme sur la Figure 15. Les symboles des Procédures Unité ont été dilatés et les PFC qu'elles encapsulent sont représentées à l'intérieur. On voit à présent que les 2 Procédures Unité Préparation et Réaction ont chacune 4 Opérations. On peut observer que le point de synchronisation S1 concerne le prélèvement d'échantillon dans la cuve de préparation tandis que le transfert de matière T1 est effectué par les Opérations Transfert du Réacteur (Procédure Unité Préparation) et Transfert de Préparation (Procédure Unité Réaction)

## En résumé

La notation Procedure Function Chart propose une méthode normalisée et indépendante du fournisseur pour la description de la Procédure de la Recette. Cette indépendance est assurée par le fait que la méthode a été développée sur la base de multiples méthodes et normes connues ou utilisées et en diffère suffisamment de telle sorte qu'aucun fournisseur n'est avantage. Un panel large et diversifié de fournisseurs et d'utilisateurs a conduit son développement et cette notation représente un consensus accepté par toutes les parties. Il est attendu de la notation PFC qu'elle

- Supporte une méthode normalisée pour les échanges de données entre systèmes
- Permette une communication efficace entre les acteurs pendant toutes les phases des projets
- Raccourcisse la courbe d'apprentissage des auteurs de Recettes, et des opérateurs lorsqu'ils ont à mettre en œuvre différents systèmes

Cette présentation a été réalisée à partir de larges extraits d'une présentation de David Emerson<sup>[10]</sup>.

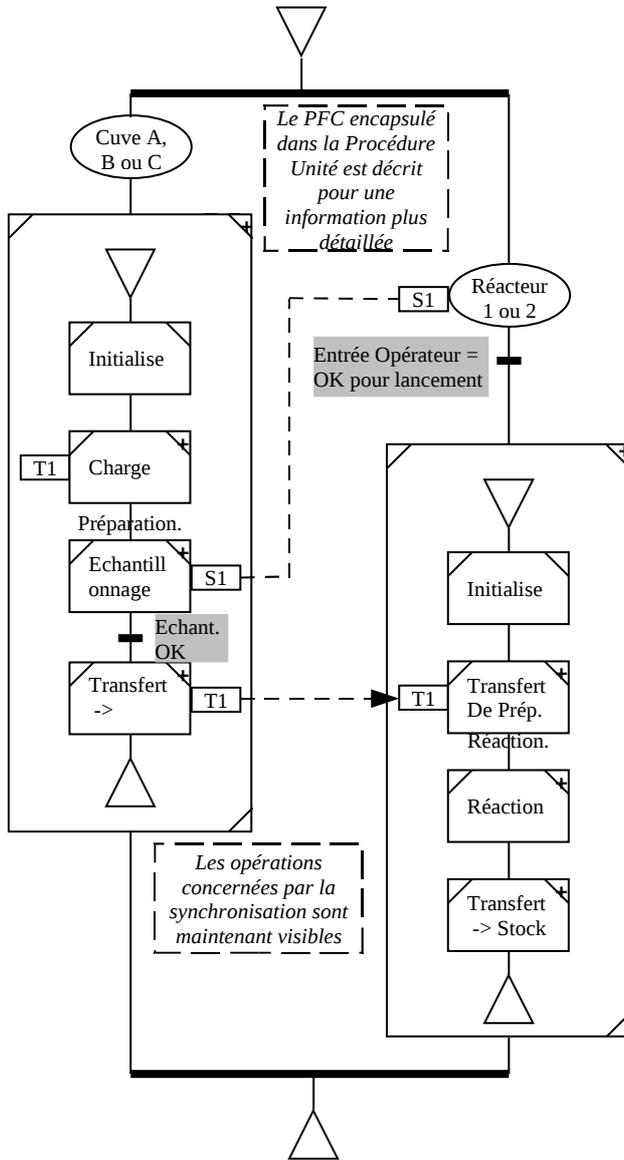


Figure 15 – Détail de l'encapsulation

## Autres règles du PFC

La notation PFC a pour objet de favoriser l'échange des données de Recette entre systèmes et de rendre plus facile l'apprentissage d'un nouveau système batch. Toutefois, il est reconnu qu'aucun paradigme n'est définitif et que l'évolution et l'innovation se poursuivront. Par conséquent, la norme permet d'étendre la notation PFC. La seule exigence est que les extensions soient clairement définies.

La Procédure est le ciment qui unit les différentes catégories d'information de la Recette au sein de chaque élément procédural. La norme n'impose pas la représentation de ces informations. Les exemples ont montré une représentation possible des paramètres de la formule et des conditions des transitions. La description de l'en-tête de Recette et des « Autres Informations » peuvent faire l'objet de larges divergences dans l'implémentation.

- <sup>[1]</sup> ISA-dS88.02 September 1999, Draft 15, Revision 1
- <sup>[2]</sup> WG4 - dSP88.02 « A Proposal For Batch Control Systems Recipe, Schedule, and Journal Exchange » Languages Mai 1996
- <sup>[3]</sup> Object-oriented SFC and ISA-S88.01 recipes, Karl-Erik Arzen and Charlotta Johnsson, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, at the 1996 World Batch Forum Conference.
- <sup>[4]</sup> Recipe-Based Batch Control Using High-Level Grafchart, Licentiate Thesis by Charlotta Johnsson, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, June 1997.
- <sup>[5]</sup> Grafchart and Batch Recipe Structures, Charlotta Johnsson, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, at the 1998 World Batch Forum Conference.
- <sup>[6]</sup> A Graphical Language for Batch Control Charlotta Johnsson, Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden, 1999
- <sup>[7]</sup> IEC 3B/256/CD, Projet de révision IEC 60848 Ed.2: Specification Language GRAFCET for sequential function charts.
- <sup>[8]</sup> IEC 60848: 1988, Preparation of function charts for control systems.
- <sup>[9]</sup> IEC 61131-3, Programmable controllers – Part 3: Programming languages
- <sup>[10]</sup> “What Does a Procedure Look Like? The ISA S88.02 Recipe Representation Format, by David Emerson, Yokogawa Corporation of America at the 1999 World Batch Forum Conference.