

# Intégration des analyses en ligne dans les opérations du process Batch

Jean Vieille  
Consultant

Strasbourg, France

## MOTS CLE

Contrôle du process Batch, Ordonnancement à capacité finie, Analyse qualité, Ajustements matières, Echantillonnage, Information procédé réduite, LIMS, MES, ERP, FCS, S95.01, S88.01

## RESUME

Cet exposé présente une solution développée pour assister les processus de gestion de l'assurance qualité en production d'une unité de polymérisation. Cette solution vise à permettre :

- Une gestion dynamique de l'analyse qualité synchronisée avec les données de l'ERP et les activités de production
- Une exécution des procédés indépendante du facteur humain
- Une information complète et précise sur le comportement du procédé

Les analyses qualité peuvent être exécutées par l'équipe du laboratoire ou par les opérateurs de fabrication eux-mêmes. Les analyses à effectuer dépendent du produit et de l'opération process courante. Elles sont souvent itératives, liées à des ajouts de matières ou des ajustements des points de consigne. Les spécifications qualité sont attachées de préférence aux données client et produit fini de l'ERP. Les relations entre le laboratoire et l'exploitation impliquent une gestion en temps réel des ordres d'analyse et des rapports de leurs résultats.

La solution présentée propose une voie pour délivrer les spécifications qualité liées au plan de production de l'ERP et pour obtenir des rapports d'analyse attachés au rapport d'exécution de production renvoyé vers l'ERP. La spécification qualité inclut la formule pour calculer les ajustements matières. Les échantillons sont considérés comme des sous-opérations dans le processus de fabrication, et comme des ordres de travaux dans l'activité du laboratoire. Le système réalise un couplage étroit en temps réel entre les règles de fabrication, les transferts de matières et le contrôle qualité au niveau de l'exploitation, et un lien asynchrone sécurisé de l'information qualité entre l'ERP et le système de production.

Le nouveau système n'a pas encore été totalement implémenté au moment de la rédaction de cet exposé. L'intégration des analyses qualité a été conçue de façon à être connectée aux fonctions de gestion des matières et des opérations du nouveau système de supervision de la production. Les bénéfices de ce projet seront indiqués lors de la présentation.

## INTRODUCTION

L'usine CRAY VALLEY de Drocourt produit des résines polymères par synthèse et mélange. Le renouvellement du système d'information de l'entreprise basé sur un nouveau système ERP imposait de reconsidérer le pilotage de la production selon plusieurs points de vue :

- Synchronisation des règles de production entre l'ERP et le système de contrôle
- Synchronisation de la production et du conditionnement
- Optimisation de l'usage des ressources
- Gestion des stocks matières
- Information détaillée de production
- Gestion des analyses qualité

Le sujet de cette présentation concerne principalement le contrôle qualité en production et son intégration à travers la frontière Gestion / Production. Bien qu'il ait été spécifié avant la publication de cette norme, le modèle de données utilisé pourrait illustrer un exemple d'application de la norme ISA S95.01.

L'intégration n'est pas un but en soi. Pour ce qui concerne le contrôle qualité, les véritables objectifs étaient de :

- Proposer une gestion de la qualité flexible et cohérente qui permette les changements de dernière minute des exigences qualité vis-à-vis du produit ou du client
- Récupérer le savoir-faire des opérateurs et capturer le comportement du procédé
- Obtenir des performances reproductibles en atteignant les spécifications requises de la même manière quelle que soit l'équipe d'exploitation

Les considérations suivantes ont conduit à la solution exposée :

- Le système d'information doit être cohérent entre les exigences de qualité produit et client, le processus d'analyse et les résultats qualité permettant d'automatiser le processus de gestion de l'assurance qualité en production
- Les spécifications qualité sont attachées de préférence aux données produits et clients de l'ERP
- Les analyses peuvent être exécutées par le laboratoire ou par les opérateurs eux-mêmes
- Les relations entre les équipes du laboratoire et de l'exploitation impliquent une gestion en temps réel des ordres d'analyse et de leurs résultats
- Les analyses à effectuer dépendent des exigences spécifiques pour le produit et le client et de l'opération process courante
- Elles sont souvent itératives, liées à des ajouts matières ou des ajustements de points de consigne pour obtenir la cible prévue ou suivre l'évolution typique des spécifications
- Le système LIMS installé était obsolète et devait être renouvelé.

Cette solution est caractérisée par les points suivants :

- Les spécifications qualité sont attachées au plan de production délivré par l'ERP.
- Les résultats qualité sont attachés aux données de production transférées à l'ERP
- Les formules d'ajustement matières font partie des spécifications qualité
- Les échantillons génèrent des sous-opérations dans la fabrication du produit et sont traités comme des ordres de travaux dans les activités du laboratoire
- Les informations sur les productions passées sont disponibles (résultats d'analyse, ajustements matières). Ceci permet un contrôle de vraisemblance des suggestions du système.
- Le système induit un couplage étroit entre les règles de production, les transferts matières et le contrôle qualité, et un couplage asynchrone sécurisé entre l'ERP et le système de production.

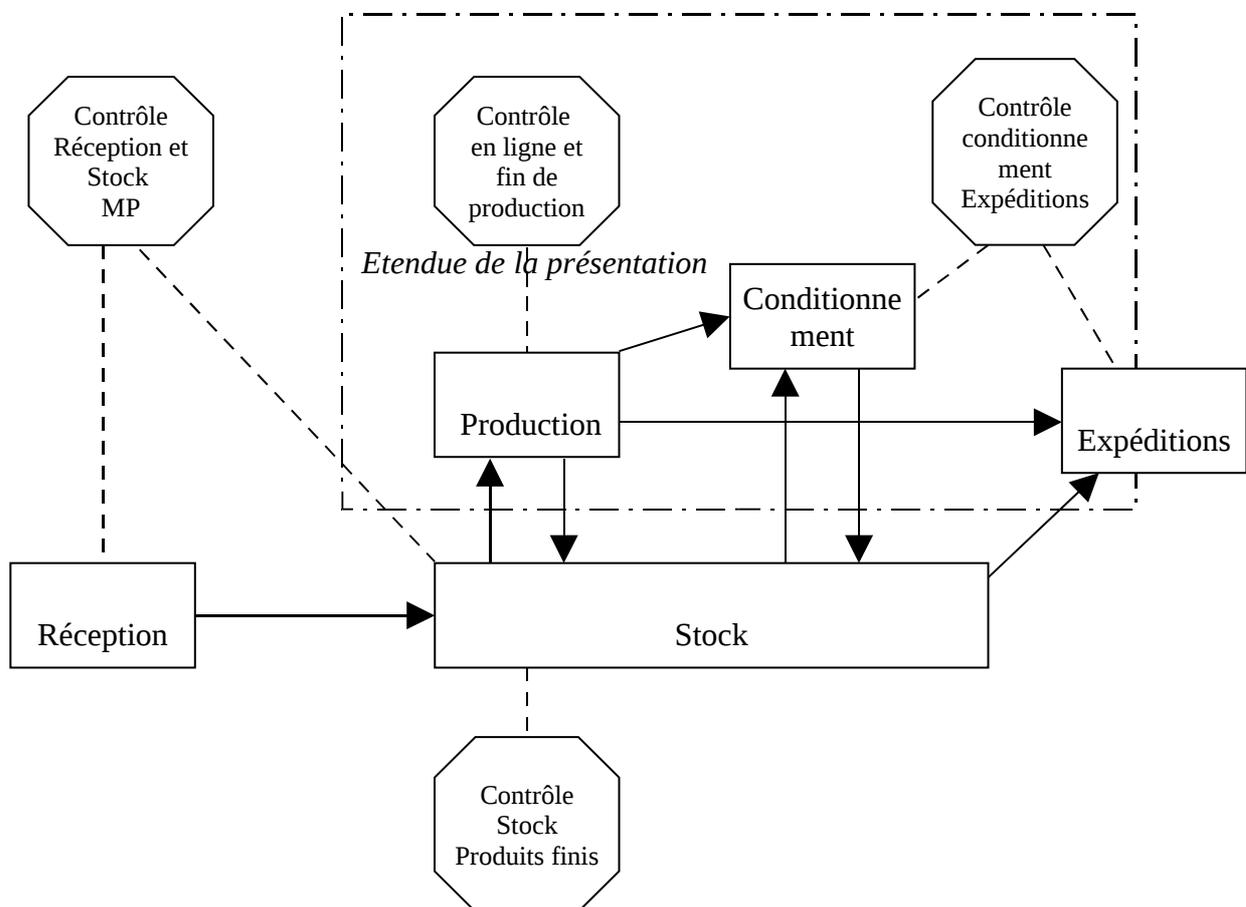
## Analyses et Contrôle Qualité – Etendue de la présentation

Les activités de contrôle et d'analyse peuvent être classées en plusieurs domaines :

1. Contrôle de la réception et des stocks de matières premières
2. Contrôles en ligne et en fin de production
3. Contrôle au conditionnement et aux expéditions
4. Contrôle périodique et d'obsolescence des stocks de produits finis

Dans notre cas, les domaines 2 et 3 sont sujets à de fortes contraintes de temps et agissent directement sur les processus qu'ils assistent. Les domaines 1 et 4 sont généralement moins critiques.

- Les contrôles de réception des matières ont été exclus du domaine du projet, mais auraient pu être gérés de la même façon sans difficultés particulières.
- La production est livrée en vrac ou emballée. L'expédition des produits emballés est découplée et ne nécessite pas de contrôles complémentaires, tandis que la livraison vrac doit être synchronisée avec la production et exige des contrôles spécifiques
- Le contrôle du stock de produits finis a été intégré, mais ne sera pas développé ici.



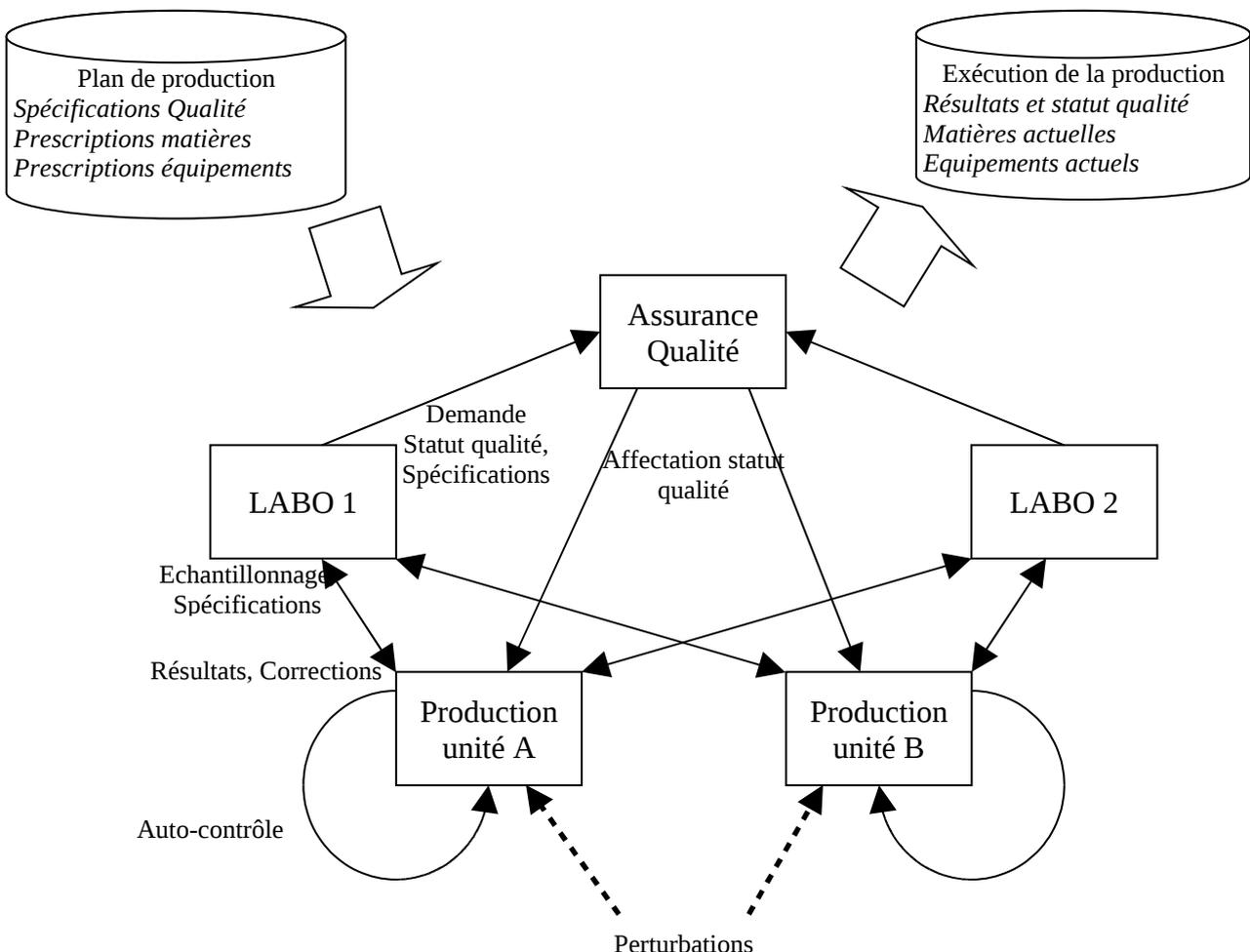
## Contrôle en ligne et en fin de production

Le contrôle qualité en ligne d'un produit durant sa fabrication, combiné avec les autres données procédé permet de :

- Maîtriser ses caractéristiques aux différentes étapes de la fabrication
- Atteindre les spécifications finales
- Améliorer la connaissance du comportement du procédé.

Nous remarquons que :

- Les variations des caractéristiques des matières en entrée (matières brutes et produits semi-finis), les conditions d'exploitation et les écarts par rapport aux règles de fabrication conduisent à des déviations des caractéristiques attendues du produit.
- Ces déviations doivent être corrigées de façon à atteindre les spécifications attendues du produit pour les étapes suivantes de la fabrication ou les spécifications du produit fini.
- Les corrections sont principalement des compensations de matières dans notre cas
- L'efficacité de la production requiert une optimisation de la durée des opérations ainsi que des actions rapides et adaptées pour compenser les déviations
- L'activité du laboratoire est supposée totalement réactive aux besoins de la production, bien que ce département doivent assumer des ordres d'analyse venant d'autres unités et doivent arbitrer ses priorités
- L'activité d'analyse peut être assurée par un ou plusieurs laboratoires, et parfois par les opérateurs d'exploitation eux-mêmes. Le travail peut être partagé entre différents acteurs : échantillonnage, analyse, correction matières, assignation du statut qualité



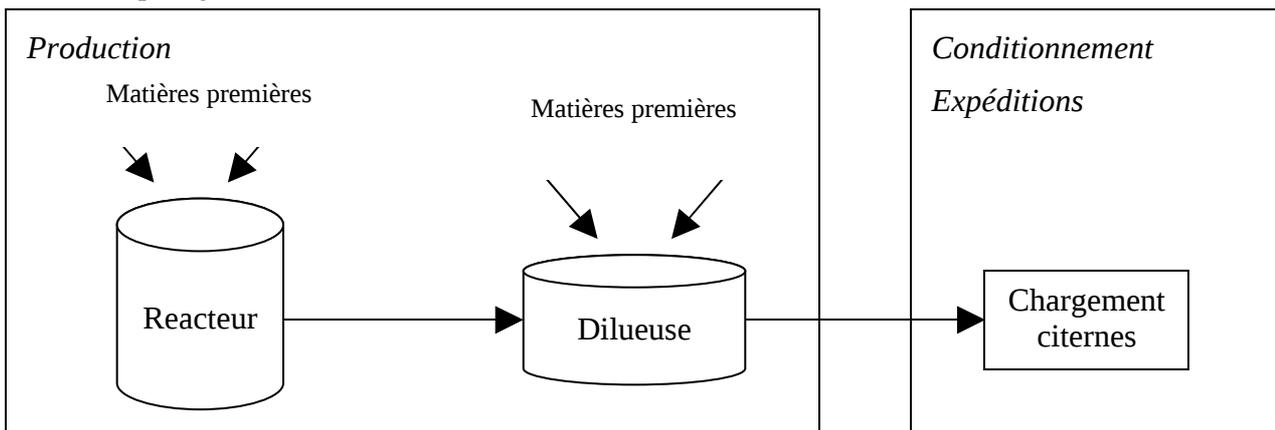
## Aperçu du procédé

L'usine met en œuvre 2 procédés principaux pour produire des polymères :

- Synthèse à partir de matières premières
- Mélange de produits semi-finis et de matières premières

La méthode adoptée et présentée ici était bien adaptée pour les 2 types de procédé, ainsi que pour les contrôles sur stock et les ajustements considérés comme des ordres de production inclus dans le plan de production de l'ERP. La figure ci-dessous montre un ordre d'expédition ou de conditionnement lié à un ordre de production (il peut y avoir plusieurs ordres de conditionnement liés à un même ordre de production).

Procédé par synthèse :



Segment de production / Activités Qualité pour la production et expédition synchronisée

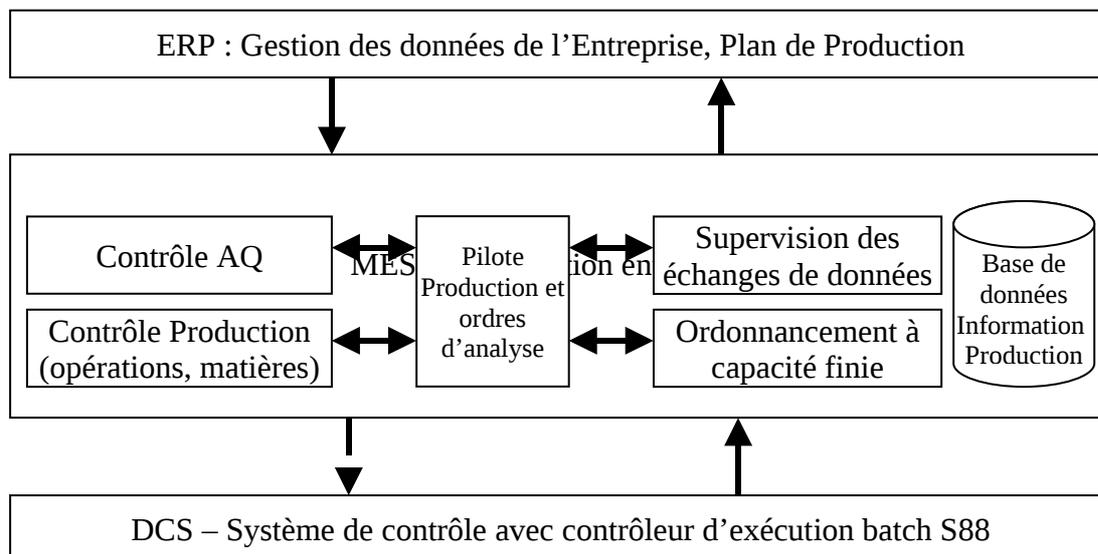
| Segment de Production      | Opérations de Production |  |                                  |  | Opérations conditionnement     |                             |
|----------------------------|--------------------------|--|----------------------------------|--|--------------------------------|-----------------------------|
|                            | Chargement réacteur      | Réaction + Spec ajustement                           | Transfert et chargement dilueuse | Ajustement des spécifications                        | Contrôle avant conditionnement | Conditionnement             |
| <b>Activités AQ</b>        | -                        | Contrôles en ligne par les opérateurs                | -                                | Contrôles en ligne par le laboratoire                | Contrôle Par le laboratoire    | Contrôle Par le laboratoire |
| <b>Besoins Equipements</b> | Réacteur                 | Réacteur   | Réacteur<br>Dilueuse             | Dilueuse   | Dilueuse<br>Conditionneur      | Conditionneur               |
| <b>Besoins personnels</b>  | Opérateur                | Opérateur  | Opérateur                        | Opérateur<br>Assistant labo                          | Opérateur<br>Assistant labo    | Opérateur<br>Assistant labo |
| <b>Besoins matières</b>    | Formule ERP              | Ajustements calculés d'après les résultats d'analyse | Formule ERP                      | Ajustements calculés d'après les résultats d'analyse | -                              | -                           |

## Architecture du système d'information

Le système d'information de production est construit autour de 3 sous-systèmes : ERP, DCS et MES

- L'ERP (Enterprise Resource Planning) assure la maîtrise des procédés qui définissent les segments de production incluant la formule de base, les classes d'équipement et de personnel requises et les spécifications qualité. Du point de vue S88, le procédé ERP peut être considéré comme un intermédiaire entre la recette maître et la recette Site/Générale tenant compte des besoins en ressources, mais simplifiant les éléments procéduraux.
- Le DCS (Digital Control System) utilise un contrôleur de batch S88. Les recettes maîtres sont construites de façon à représenter une vue détaillée des procédés ERP. L'exécution de la recette est synchronisée par le DCS qui envoie des drapeaux à destination de la recette haut niveau ERP/MES. De façon à respecter les contraintes actuelles de sécurité du système de contrôle, aucune information de l'ERP n'est transmise directement. Les ordres de production (10 par jour) sont initialisés et lancés manuellement. Certaines unités sont conduites manuellement.
- Le "MES" (Manufacturing Execution System) est une plate-forme de communication avec des applications complémentaires. Il traite les échanges de données et supervise les applications. Il a été développé spécialement par choix stratégique plus que pour des raisons techniques. Les applications sont généralement développées spécifiquement, à l'exception du FCS (Finite Capacity Scheduling, logiciel d'ordonnancement à capacité finie). Cette couche du système d'information a été conçue pour être totalement "transparente", ne gérant que les configurations d'environnement et de sécurité d'accès. Les données opérationnelles sont toujours maîtrisées par leur propriétaire (application d'origine), qui est l'ERP dans la plupart des cas. Ceci est indispensable pour assurer l'intégrité du système et réduire sa maintenance.

Le DCS "pousse" les données process dans la base de données de production en temps réel ou à la fin de la production selon les besoins du système.



## PILOTAGE DE LA PRODUCTION

### Plan de production initial de l'ERP

Le plan de production de l'ERP contient tous les ordres de production validés. Un ordre de production est composé de :

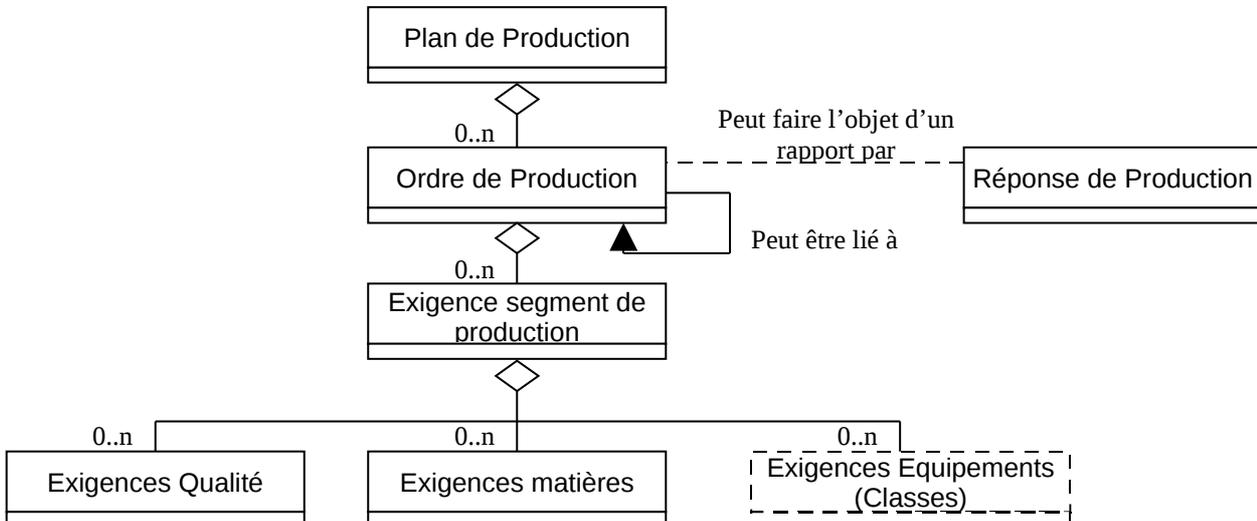
- *L'information de planification de la production.*  
Elle inclut le plan de production (ce qui doit être produit, quand et comment) et les liens entre demandes de production, par exemple entre ordres de conditionnement et de production.
- *Information de définition de production.*  
Elle inclut les règles de production, les exigences détaillées en matières, les exigences qualité, les exigences en classes d'équipements et de personnel.  
Elle est découpée en Segments Produit selon les règles de production (étapes et opérations process). Les règles de production incluses dans le plan de production sont interprétées par le FCS en utilisant des étapes prédéfinies et paramétrées.

L'information de capacité de production est partagée entre l'ERP et le FCS.

- La capacité matières est gérée directement par l'ERP. Il maintient la liste des lots utilisables, leur emplacement, le mode de conditionnement et les quantités pour chaque besoin élémentaire.
- La capacité Equipement et Personnel est gérée par le FCS

2 plans de production sont gérés séparément et contenus dans 2 bases de données séparées :

- Le plan de production courant
- Le plan de production simulé utilisé pour vérifier la charge globale de l'usine en regard de la capacité disponible pour le plan ferme et les prévisions court, moyen et long terme de l'ERP, en invoquant les fonctions d'analyse de contrainte du FCS.



Ce modèle ne correspond pas exactement au modèle du projet actuel S95.01 (draft 11 June 1999):

- Les exigences matières sont supportées par un seul objet plutôt que par 3 entités séparées pour les matières "Produites", "Consommées" et "Consommables".

Un objet séparé supporte les exigences qualités au lieu de les encapsuler dans le modèle matières. Cette conception a été choisie parce que plusieurs ordres de production pour le même produit peuvent mettre en œuvre des exigences qualité différentes selon les exigences du client. Le modèle S95.01 model aurait pu être appliqué, mais de façon moins évidente.

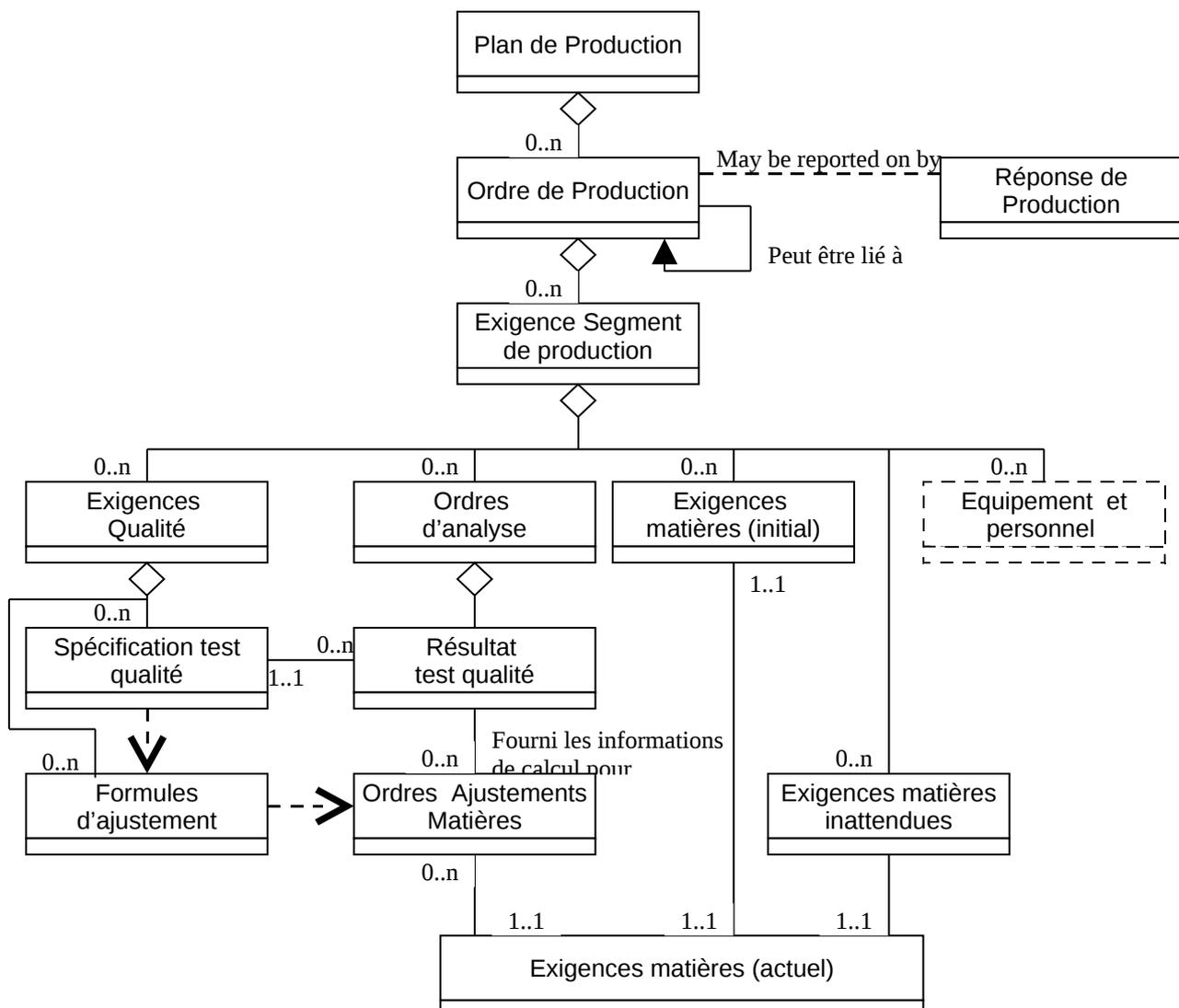
## Plan de production exécutable : complété par le Contrôle et le FCS

Le sujet de ce papier est présenté ici. Les segments de production sont découpés en sous-segments générés pour chaque échantillon. Ceci permet de gérer une information détaillée de production au niveau de l'échantillon selon un schéma très simple.

L'échantillonnage est traité selon les exigences qualité. Les ajustements matières recommandés après l'analyse de l'échantillon selon les spécifications des tests qualité sont introduits dans les exigences matières, automatiquement déployés au niveau de la "sous-opération" d'échantillonnage.

En plus de l'altération des matières par le contrôle qualité, ce modèle supporte les altérations de formule pour tenir compte des chargements imprévus de matières (dus aux "sentiments" de l'opérateur, à un manque des matières requises, à une demande du service qualité...)

Le FCS traduit les exigences définies en classes d'équipements par l'ERP en allocations spécifiques ("Réacteur" dans le plan de production initial devient "R151" après traitement par le FCS). Il définit les exigences en personnel. Les ressources en équipement et personnel et leur usage ainsi que La traçabilité des lots de matières ne seront pas davantage détaillées ici, étant exclu de la portée de cette présentation.



## Exécution de la production et rapport vers l'ERP

L'information de production est enregistrée dans la base de donnée de l'Information de Production Courante pendant l'exécution de la production selon un model semblable au précédent.

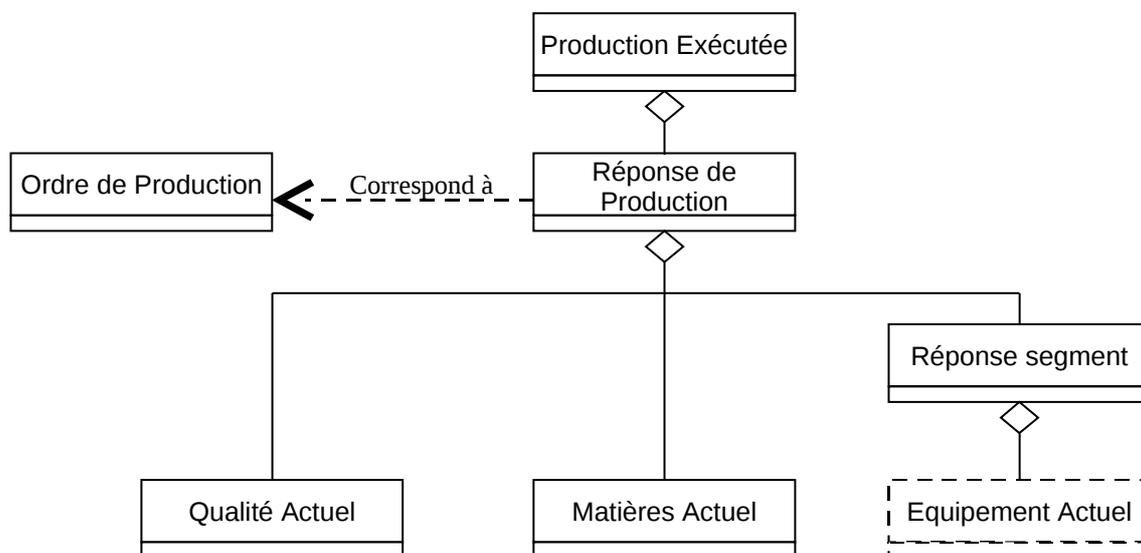
A la fin de la production ou à la suite d'une demande particulière, l'information de production est transférée dans la base de donnée séparée de l'Information de Production Historique. Cette base de données peut être utilisée :

- Comme référence en ligne du comportement actuel du procédé par les chimistes et les opérateurs
- Pour l'analyse hors ligne du comportement du procédé, la recherche des incohérences de transferts de matières, les calculs d'utilisation des équipements, l'analyse Pareto des défauts...

Au même instant, le rapport d'exécution de la production est envoyé à l'ERP. Il consiste en un jeu d'informations consolidées et validées à partir de l'information détaillée de production. Cette information est réduite pour correspondre aux besoins de l'ERP :

- Activités des ressources : allocation des ressources, durée de chaque segment de production (seule l'utilisation des équipements est renvoyée)
- Transactions matières. L'utilisation et la production des matières est réduite par lot, emplacement et catégorie.
- Résultats qualité : résultats d'analyse consolidés pour le produit fini. Ils comprennent les résultats des tests aussi bien que le statut qualité pour la matière produite.

On obtient ainsi une réponse concise à l'ordre de production de l'ERP, tandis que l'information détaillée demeure disponible dans la base d'information de production.



A nouveau, ce modèle ne correspond pas exactement au modèle S95.01 :

- Les résultats qualité sont rapportés dans un objet séparé (comme dans le plan de production)
- Les résultats qualité et les matières sont rapportés à l'ordre de production, et non au segment de production

## PILOTAGE DU CONTRÔLE QUALITÉ

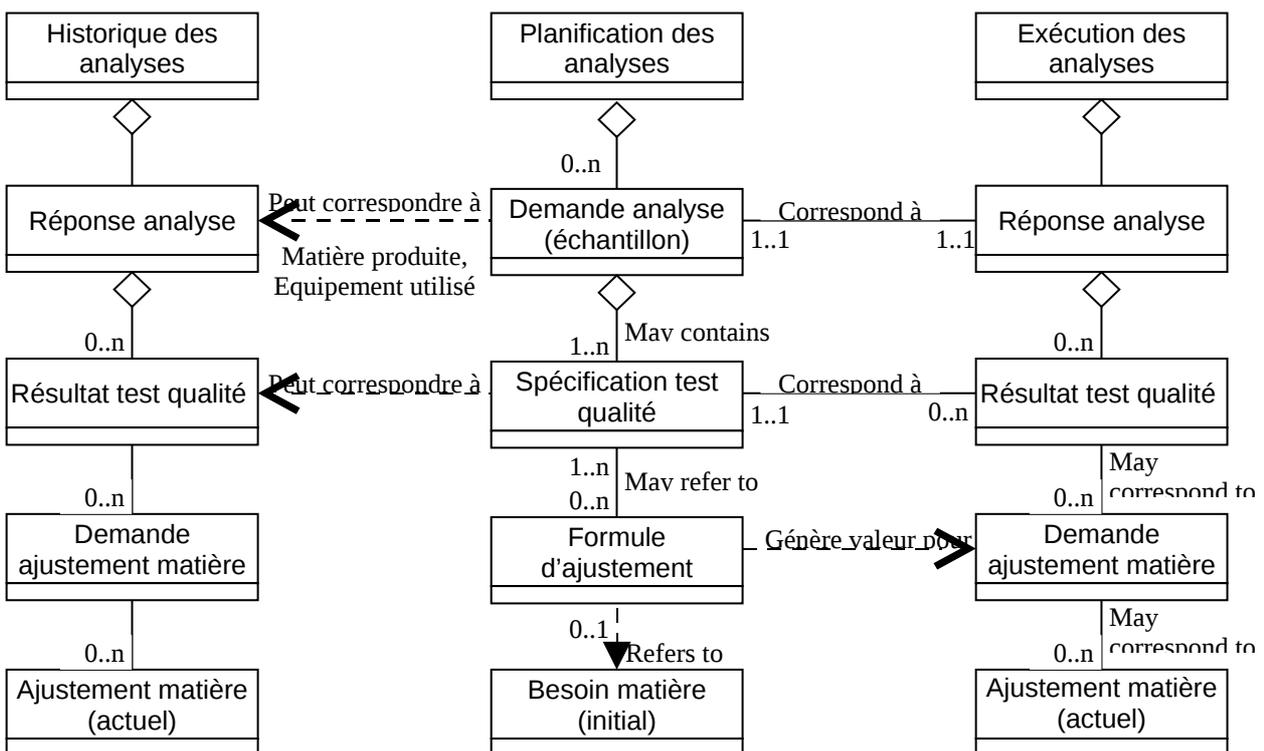
### Planification opérationnelle du Contrôle Qualité

Les activités du laboratoire sont gérées de la même façon que celles de l'installation de production. Le laboratoire est traité comme une Cellule Process et les échantillons sont considérés comme des ordres d'analyse dans la planification des analyses. De cette manière, le laboratoire principal et les opérateurs qui exécutent des analyses particulières d'auto-contrôle en ligne peuvent disposer de leur propre planification indépendante.

La planification de la production, les segments de production et les informations matières sont cachées (mais disponibles) dans la planification d'analyse, et l'on obtient une gestion intégrée, mais indépendante de ces activités.

Les réponses d'analyse sont rapportées aux ordres d'analyse correspondants (données courantes) et peuvent faire référence aux résultats passés pour le même produit et (optionnellement) le même équipement. Ceci permet une comparaison facile entre les résultats actuels et les ajustements matières avec les sessions de production passées.

L'utilisation du FCS permettrait d'optimiser l'activité du laboratoire.



## CONCLUSIONS

Le système présenté offre un modèle adapté tout en restant simple pour intégrer l'information de laboratoire dans l'information de production. La solution développée à partir de spécifications contrôlées par l'utilisateur correspond de près aux besoins exprimés par le département de production tout en étant conforme aux besoins de l'ERP vis-à-vis de l'information de production.

- Une information complète et précise est disponible pour les formules d'ajustement matières. Chaque ajout matière peut être comparé aux propriétés physico-chimiques du produit obtenues pour les opérations process et l'échantillon qualité correspondant.
- L'information nécessaire réduite et validée est remontée à l'ERP tandis que l'information détaillée est conservée au niveau du système de production.
- Le travail du laboratoire est géré efficacement, et pourrait être optimisée par un FCS
- Le modèle S95.01 n'est pas totalement implémenté et respecté. Toutefois, spécifiée dans l'ignorance de ce standard, cette solution n'en est pas si éloignée et aurait pu être développée en accord avec ses modèles conceptuels.
- Le principal bénéfice par rapport au précédent LIMS est un dialogue efficace entre les unités de production et le laboratoire et la gestion qualité centrée sur l'ERP, ce qui simplifie énormément la gestion des données de production.

Inversement, on peut mentionner quelques déficiences :

- Principalement développée à façon, l'architecture MES aurait pu être construite en utilisant des composants commerciaux disponibles. Ce choix a conduit à des délais incontrôlables, des incertitudes techniques et des impasses en matières de coût et de budget aussi bien pour l'utilisateur final que le contractant. La société qui a développé les composants du système a disparu avant la fin du projet. Le vendeur de l'ERP a du prendre la responsabilité de terminer et supporter le système.
- Le système n'est pas un exemple d'intégration totale, laissant le DCS encore isolé par rapport aux flux d'information descendants de l'ERP. Le partage des responsabilités entre les systèmes de Gestion et de Contrôle n'a pas été résolu : c'est un des principaux défis de la norme S95.01 !
- Le système DCS a été écarté du projet. En raison d'une stratégie floue du vendeur du DCS ou d'incompréhensions, ses capacités de gestion de Batch n'ont jamais été prises en compte. Les opérateurs doivent utiliser 2 logiciels différents et la synchronisation avec l'état actuel du process est encore gérée manuellement.
- Le standard S88 n'a jamais été considéré (hormis au niveau DCS). Le modèle physique est géré indépendamment dans 3 systèmes (ERP, DCS, FCS)

Ainsi, le principal problème de ce projet est son planning incontrôlé du à une spécification sans fin du système et un développement à façon. S'il devait être repris, sa réalisation pourrait être considérée d'une façon plus efficace :

- Utiliser autant que possible des solutions commerciales développée par des éditeurs fiables.
- Il aurait été préférable de considérer une utilisation extensive des capacités de gestion batch du DCS, même pour les unités conduites manuellement.
- Une équipe de projet plus consistante et un budget plus réaliste auraient probablement conduit à de meilleures options et assuré un contrôle de la planification du projet.

Nous espérons que les concepts de base exposés dans cette présentation apporteront une contribution utile pour un bon nombre de projets d'intégration entre les mondes de la Gestion et de la Production.