

Membre de l'université Paris Lumières
École doctorale 396 : Économie, organisation, société

Kawtar RETMI

Une approche pour une évaluation économique des décisions opérationnelles et tactiques : mise en œuvre sur la Supply Chain de l'OCP

Thèse présentée et soutenue publiquement le 30/06/2018
en vue de l'obtention du doctorat de Sciences de gestion de l'Université Paris Nanterre
sous la direction de M. Pierre FENIES (Université Paris Nanterre)
et de M. Janah SAADI (codirecteur)

Jury * :

Pr. Hicham MEDROUMI	Professeur ENSEM Université Hassan II Casablanca	Président
Pr. Frédéric GAUTIER	Professeur Université Paris 1 Panthéon Sorbonne	Rapporteur
Pr. Saad LISSAN EI HAQ	Professeur ENSEM Université Hassan II Casablanca	Rapporteur
Pr. Khalifa MANSOURI	Professeur ENSET Mohammedia	Rapporteur
Pr. Nikolay TCHERNEV	Professeur Université d'Auvergne Clermont 1	Rapporteur
Pr. Vincent GIARD	Professeur Emérite EMINES-School of Industrial Management-Université Mohamed VI Polytechnique	Suffragant
Pr. Pierre FENIES	Professeur Université Paris Nanterre	Directeur de thèse
Pr. Janah SAADI	Professeur ENSEM Université Hassan II Casablanca	Directeur de thèse

Remerciements :

Mes remerciements se tournent en premier lieu vers les membres du jury pour leur lecture attentive de ma thèse ainsi que pour les remarques qu'ils m'ont adressé lors de ma soutenance afin d'améliorer mon travail.

Toute ma gratitude s'adresse aussi aux rapporteurs qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce texte et de participer à la soutenance de cette thèse.

Je remercie également Professeur Nicolas CHEIMANOFF, directeur de l'établissement Emines, et Professeur Frédéric FONTANE, directeur adjoint – directeur de l'enseignement et de la recherche de l'Emines, qui ont rendu cette expérience possible et m'ont permis de mener à bien ce projet.

Je voudrais exprimer ma gratitude à mes directeurs de recherche Professeur Pierre FENIES, Professeur Vincent GIARD, et Professeur Janah SAADI, pour m'avoir accompagnée et soutenue tout au long de ce doctorat et pour la confiance qu'ils m'ont accordée en me permettant d'effectuer une thèse sous leurs directions.

Je tiens également à exprimer ma gratitude toute particulière à Monsieur Mostapha TERRAB, Monsieur Mohamed BENKAMOUN pour la confiance qu'ils m'ont accordée pour travailler au sein de l'OCP SA.

Je tiens également à remercier Monsieur Mostapha OUHADI et Monsieur Hassan KADDOURI pour leurs disponibilités et la facilité d'accès aux différents sites OCP SA.

J'exprime ma reconnaissance à Madame Khadija KRIMI et son équipe, Madame Bouchra MOFLIH, Monsieur El Habib IDHAMMOU pour leurs aides sur le terrain et pour leurs précieux conseils afin d'améliorer la qualité de mon travail. Merci de m'avoir désigné des employés agréables que j'ai pu individuellement rencontrés, et qui m'ont octroyés parfois de longues heures de leur temps et ont répondu à toutes mes questions.

Je remercie plus particulièrement, Monsieur Driss KADIRI pour sa disponibilité, son suivi, ses encouragements et ses connaissances tout au long de mon travail. Un grand merci pour son aide inestimable.

J'adresse mes plus sincères remerciements à tout le personnel de l'EMINES-UM6P-ACCOR que j'ai sollicité à plusieurs reprises et qui ont toujours répondu par un oui positif. Je les remercie également pour leurs encouragements. Je remercie tout particulièrement Madame Khadija AIT HADOUCH que j'ai sollicité à plusieurs reprises, le département de la scolarité, le département IT que j'ai mobilisé maintes fois, le département logistique et la bibliothèque.

Plus généralement, merci à tous les auteurs que j'ai pu lire ou rencontrer durant mon travail et qui m'ont permis de comprendre tous dont j'avais besoin. Ce travail n'aurait pu être possible sans leurs travaux passés.

Je tiens enfin à remercier mes proches, dont les attentions à mon égard m'ont toujours été d'un grand réconfort. Ma plus grande reconnaissance pour mon père pour tout ce qu'il m'a offert pour arriver à ce niveau, et je le remercie pour les portes qu'il m'a ouvert au sein de l'OCP SA en tant que Hors cadre retraité, ce qui m'a beaucoup facilité le contact et m'a permis de nouer de belles relations au sein du groupe. A ma sœur Ghizlane, qui m'a soutenu tout au long de mes études. A mon frère Abdessamad et sa femme Hanane, qui par leurs conseils et leurs patiences m'ont donné l'envie de réussir. A mon frère Adnane pour son sacrifice, ses précieux conseils et sa patience et à sa femme Hanane pour son soutien. A mon mari Talal qui par son soutien, sa patience m'a aidé à mener à bien ce projet. A mes beaux-parents pour leurs encouragements. Un grand merci à mes belles sœurs pour leurs précieux soutiens. Enfin

à Catherine GORDON, qui a pris le temps de me relire et m'aider à la correction de l'orthographe.

Je tiens à exprimer une attention toute particulière à mes nièces et à mes neveux.

Enfin, je remercie tous mes amis et tous ceux qui m'ont accompagné au cours de toutes ces années.

A tous, un grand merci

Table des matières

Introduction Générale	6
Chapitre 1 : Etude du contexte : la Modélisation et la Simulation des processus logistiques hybrides.....	17
1 Typologies des processus logistiques et des chaines logistiques	18
2 Flux d'une chaîne logistique	24
3 Modélisation pour l'aide à la décision dans les CLH.....	30
4 Simulation et chaîne logistique.....	40
5 Conclusion.....	46
Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme.....	47
1 Modèle de valorisation pour le SCC.....	48
2 Activity Based Costing pour la supply chain	55
3 Couplage ABC - SED.....	61
4 Structuration de l'information sous la forme d'un tableau de bord de la Supply Chain pour l'aide à la decision	68
5 Conclusion.....	71
Chapitre 3 : Une approche pour la valorisation des processus logistiques hybrides ..	73
1 Une méthodologie pour la valorisation des processus logistiques hybrides	74
2 Analyse et Spécification de la connaissance à l'aide d'une approche multiple et incrémentielle pour les processus hybrides	78
3 Conception et implantation pour la valorisation des processus hybrides	93
4 Extension du concept d'advanced budgeting system (ABS) pour les Chaines Logistiques Hybrides	102
5 Conclusion.....	108
Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA	109
1 Contexte de la mise en œuvre	110
2 Analyse et spécification des flux et de la connaissance sur la CLH de l'OCP SA.....	113
3 Conception d'un SIAD pour Maroc Phosphore à l'aide de PREVA.....	130
4 Implantation de la démarche pour Maroc phosphore et discussion des résultats	143
5 Conclusion.....	148
Conclusions.....	149
Bibliographie	157
Annexes	169

Introduction Générale

Dans les organisations industrielles comme dans le monde académique, le contrôle de gestion comme le supply chain management sont considérés par la plupart des acteurs comme deux domaines indépendants avec peu d'intersections. Force est de constater qu'un fort courant de recherche intitulé « Supply Chain Costing » [Seuring, 2002] montre l'intérêt scientifique comme managérial de relier ces deux champs. Même si des travaux préexistés dans le SCC par exemple ceux de [Cooper et Slagmulder, 1999], et même si les systèmes de coût ont été largement étudiés dans l'industrie japonaise, nous inscrivons ces travaux dans la logique instrumentale de [Seuring, 2002]. Ainsi, le Supply Chain Costing se définit comme Chain Management. Ce travail doctoral s'inscrit ainsi dans le cadre du Supply Chain Costing et vise à proposer un environnement de modélisation [Fenies 2006] et [Tchernev, 1997] permettant de coupler les outils de contrôle de gestion et les outils du supply chain management dans le contexte particulier des processus hybrides (processus composés d'activités de production et de transport combinant éléments continus et discrets, nous reviendrons sur cette définition dans la suite du document). Cette introduction cherche à présenter le sujet que nous traitons et les domaines sur lesquels il porte. Quatre thèmes permettant au lecteur d'aborder le travail présenté dans cette thèse structurent cette introduction. Nous traiterons d'abord du contexte sur lesquels portent ces travaux, avant de présenter les objectifs de la recherche. La troisième partie de cette introduction présente les choix épistémologiques retenus et leurs implications sur l'enchaînement de nos travaux. La quatrième partie donne le plan d'ensemble de ce document.

A. Contexte des travaux de recherche : Le pilotage économique des activités industrielles pour OCP SA

Cette thèse s'inscrit dans le cadre de la chaire d'optimisation industrielle, portée par l'EMINES, de l'université Mohammed 6, et financée par OCP SA.

L'OCP SA est la plus grande entreprise marocaine. Le Maroc posséderait plus de 60 % des réserves de ce minerai et l'OCP SA s'est engagé dans un processus d'exploitation raisonné et responsable de ces richesses. Initialement spécialisé dans l'extraction de minerais de phosphate, l'OCP SA a élargi ses activités vers la production de fertilisants phosphatés selon le processus de transformation illustré dans la figure 1, tandis que la figure 2 présente la chaîne logistique de OCP SA de manière agrégée.

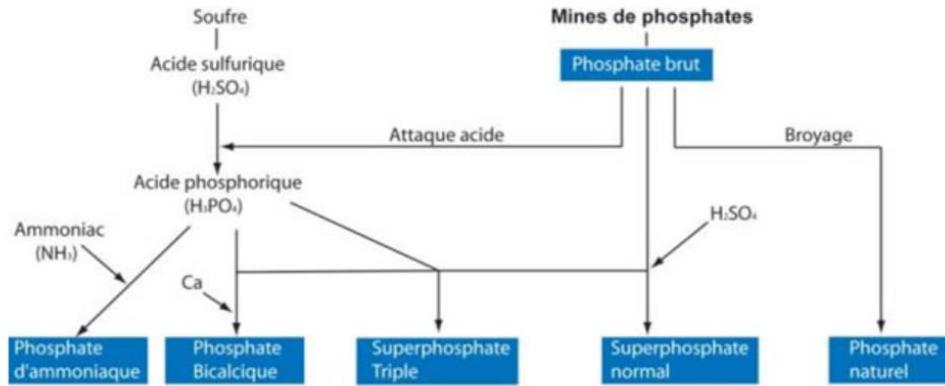


Figure 1: La filière de production des Produits Phosphatés

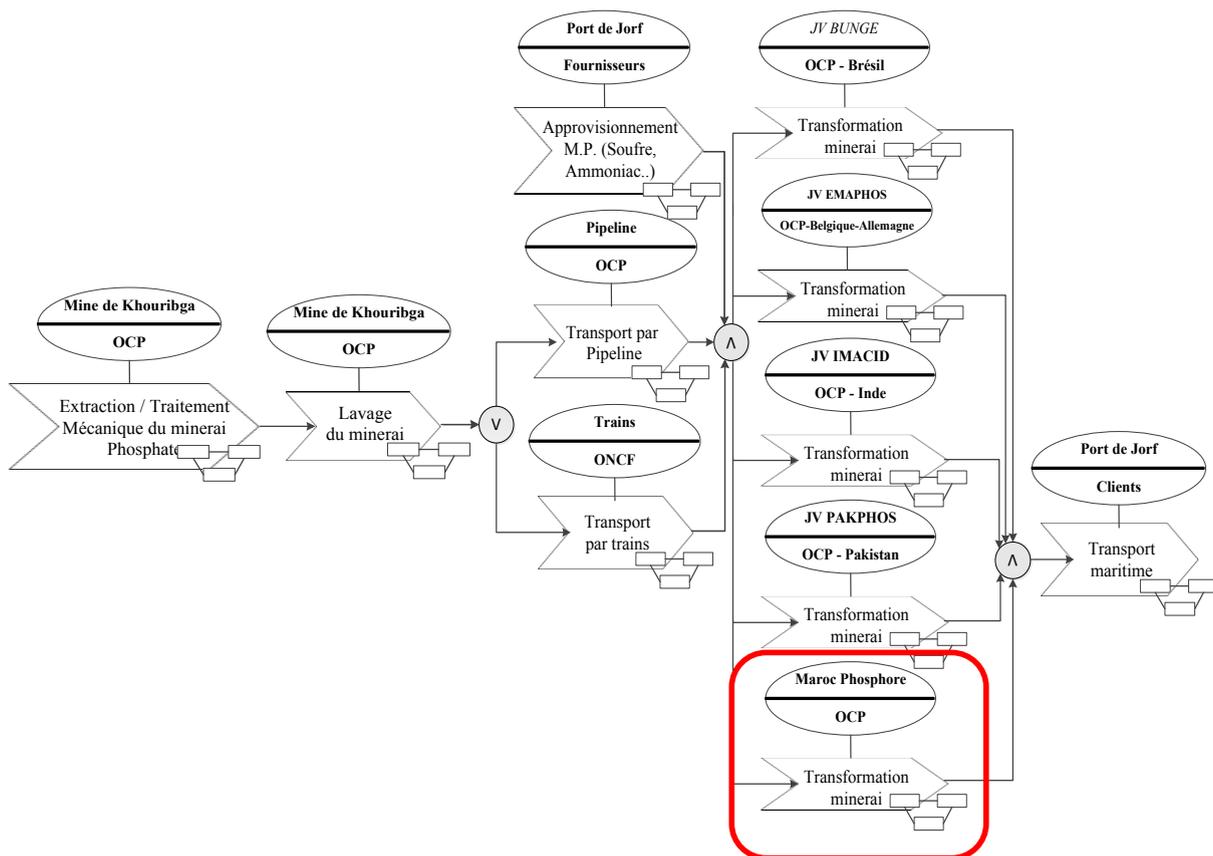


Figure 2: La Supply Chain / La chaîne logistique de l'OCP SA: représentation de l'axe nord

L'OCP SA maîtrise totalement sa chaîne logistique, caractérisée par des processus de production continue (industrie de process) travaillant sur lots à transporter entre deux maillons de la chaîne, ce qui lui confère des caractéristiques des systèmes productifs discrets. Dans ce contexte, les différents sous-systèmes de la chaîne sont découplés par de nombreux stocks de matières premières de caractéristiques et de qualités différentes. L'introduction d'un mineroducs¹ (300 km) transportant des « boues » modifie complètement la chaîne logistique en réduisant le cycle de production, en change la localisation de certaines opérations en

¹ Mise en œuvre d'un nouveau mode de transport, le « Slurry pipe », qui relie la mine de Khourghiba au hub international de la chimie des phosphates (Jorf Phosphate Hub).

permettant d'accentuer le couplage entre les unités productives. Cette reconfiguration industrielle doit se faire sans référentiel, en l'absence de transformations comparables connues.

Dans ce contexte, les problématiques des pilotages à court terme (ordonnancement dans les différentes unités productives) et à moyen terme (planification) s'enchevêtrent. Les éléments de réflexion et de décision nécessaires pour répondre à ces nouveaux enjeux d'adéquation charge-capacité sont d'autant plus complexes, que l'OCP SA connaît un environnement notamment marqué par :

- Une fluctuation du cours des matières premières intervenant dans le processus de transformation de la roche en DAP (engrais) ;
- Une consommation des engrais phosphatés qui augmente rapidement dans certains pays émergents (notamment la Chine, l'Inde, le Brésil, l'Indonésie...) mais qui est relativement stable dans les pays les plus industrialisés (Europe, États-Unis, Japon), où les considérations environnementales conduisent à une utilisation plus mesurée des engrais chimiques ;
- Une répartition des ressources en phosphate qui est très inégale sur la planète². Pour les pays importateurs de cette ressource, une telle concentration est une source d'inquiétude, car une rupture d'approvisionnement impacterait durement le marché mondial.
- Un marché mondial des phosphates qui sera marqué notamment par l'émergence de nouveaux projets entièrement intégrés et hautement compétitifs et qui risque d'entraîner des changements profonds dans les équilibres de marché³.

De fait, les cours de la roche « phosphate » et de ses dérivés chimiques sont devenus plus volatiles, ce qui induit une structure des ventes plus fluctuante, permettant à l'OCP SA d'améliorer (provisoirement ?) sa marge, mais au prix d'une incertitude pesant sur la production à moyen terme. Les conséquences de cette volatilité du marché ne peuvent pas être écartées de l'analyse à conduire. Parallèlement, afin de mieux répondre aux demandes de ses clients, l'OCP SA a la volonté de passer d'une production sur stock, à une production à la commande, avec une élimination progressive des stocks intermédiaires.

La combinaison de ces caractéristiques est à peu près unique et pose une série de problèmes de management industriel à considérer de manière globale et non indépendante. La problématique d'évaluation de la performance, en termes d'efficacité et d'efficience, et celle du contrôle de gestion industriel deviennent saillantes au niveau des unités mais aussi de la chaîne logistique dans son ensemble : il convient d'imaginer un modèle de Supply Chain costing utilisable quel que soit le niveau de granularité de la chaîne (ie. un atelier / une usine / un site/ ou la supply chain dans son ensemble), quel que soit le type d'item évalué (un lot / une

² Selon les estimations de l'US Geological Survey (2012), les ressources actuellement exploitables se situent pour les trois quarts au Maroc et dans le Sahara occidental. Le Maroc n'est que le troisième producteur mondial de minerai de phosphates avec 25 millions de tonnes en 2010 (sur 176 millions de tonnes extraites dans le monde), loin derrière la Chine (60 millions) et juste derrière les États-Unis (25,1 millions), mais de loin le premier exportateur, puisqu'il est à l'origine d'environ un tiers des exportations mondiales.

³ Parmi les nouveaux projets entièrement intégrés, il convient de mettre en relief le mégaprojet « Jalamid » en Arabie Saoudite qui prévoit la production de 3 millions de tonnes de DAP à l'horizon 2018 à un prix très compétitif en raison de la proximité des principaux consommateurs mondiaux des produits phosphatés, à savoir l'Inde et la Chine et de la production par l'Arabie Saoudite du pétrole, du soufre et d'ammoniac nécessaire à la fabrication des engrais.

commande / un produit / un process industriel), et surtout qui permette l'évaluation de la performance économique et logistique ex ante au niveau tactique et opérationnel.

La Chaîne Logistique (CL) de l'OCP SA, constituée d'une seule entité juridique est un terrain particulièrement intéressant car elle permet d'innover, de construire et de tester des méthodes / outils / concepts à partir d'une démarche de contrôle de gestion industriel tout en s'affranchissant des contraintes de coordination et de restriction d'information inhérentes aux CL constituées d'entités juridiquement indépendantes. Un tel contexte, propice à une cohérence instrumentale et décisionnel est très rare dans des CL de cette complexité et de cette importance.

B. Objectifs de la recherche : la construction d'artefacts logiciels pour une évaluation économique du pilotage des activités industrielles.

L'objet de cette recherche est double et s'inscrit pleinement dans la chaire d'optimisation industrielle de l'Emines :

- Il s'agit d'une part, d'aider à comprendre les problèmes méthodologiques que pose le pilotage de la Chaîne Logistique Hybride (CLH) de l'OCP SA (que nous considérons comme étant la combinaison de processus discrets et continus) en identifiant les instrumentations disponibles pour la résolution de problèmes partiels, et, d'autre part à examiner la possibilité de la mise en place de certaines architectures collaboratives de prise de décision dans une perspective de production à la commande.
- Il s'agit d'autre part d'aider à passer d'un contrôle de gestion macroscopique à un contrôle de gestion intégré, s'inscrivant dans la perspective de la performance globale de la chaîne logistique et s'appuyant sur des référentiels cohérents avec les décisions de pilotage de la CL.

Dans ce contexte, le pilotage de la chaîne logistique, orienté vers de la production à la commande, mobilise un ensemble d'informations relatives aux ressources physiques mobilisables à court et moyen terme et sur une comptabilité de gestion. Celle-ci doit être orientée plus vers la prise de décision que vers une évaluation de décisions passées, ce qui implique une vision claire de ce qui relève de charges fixes sur l'horizon décisionnel, et de charges induites par les décisions prises (charges variables, mobilisation temporaire de ressources additionnelles...). La définition de cette comptabilité de gestion relève logiquement de la responsabilité du contrôle de gestion et doit être définie de manière cohérente avec l'usage qui en est fait par les instances de pilotage de la chaîne, dans une perspective globale et non locale. Elle doit également pouvoir être mobilisée pour effectuer un contrôle de gestion sur les décisions prises récemment et permettre, en cas de dérives significatives, de rétroagir rapidement en modifiant certaines décisions.

Le partage entre le pilotage et le contrôle est assez clair : le pilotage vise à prendre des décisions à court et moyen terme qui maximise la marge obtenue par la chaîne logistique, par un ensemble d'approches d'optimisation, de simulation et de mise en cohérence décisionnelle des acteurs. Le contrôle de gestion fournit les éléments de valorisation des décisions de pilotage, sans intervenir sur celles-ci, et évalue la performance des acteurs en s'appuyant sur un référentiel cohérent avec les décisions prises. Les problèmes méthodologiques posés par la recherche d'un contrôle de gestion se rapprochant du temps réel, dans une perspective de couplage fort des unités de la chaîne logistique, sont nombreux et leurs analyses doivent déboucher sur des approches innovantes. L'articulation de ce contrôle de gestion de court

terme constitue un défi pour le chercheur en contrôle de gestion dont la maille temporelle est plutôt le mois ou l'année tandis que son niveau de granularité organisationnel se situe à un niveau agrégé.

Dans le cadre de la mise en œuvre de notre recherche, notre champ d'application est Maroc Phosphore (Une des entités de transformation de la Supply Chain de l'OCP SA (figure 2)). La Chaîne Logistique (CL) de l'OCP SA combine des enchaînements de processus discrets et continus. Nous cherchons à mettre en place un Système Interactif d'Aide à la Décision (SIAD) intégrant une valorisation des processus pour la chaîne logistique. Pour construire un SIAD intégrant une valorisation dans le cadre de processus hybrides, nous avons besoin d'évaluer les performances de ce type de CL par la simulation et d'évaluer les performances du flux financier. Le lecteur trouvera une présentation synthétique de l'axe Nord dans l'annexe 1 pour la partie allant de la mine au complexe de Jorf et de Maroc Phosphore, cœur de cible de nos expérimentations dans le chapitre 4.

Notre objectif est de proposer et tester une approche permettant d'évaluer économiquement les décisions opérationnelles et / ou tactiques. **Y a intérêt à évaluer économiquement chacune de ces décisions séparément comme globalement avec une maille temporelle fine ? Comment le faire ? Quel type de SIAD devons nous construire ?**

De ce fait, nous cherchons à construire un SIAD opérationnel /tactique par le biais de la modélisation des processus organisationnels et industriels tout en valorisant les coûts. La modélisation contribue à la prise de décisions au niveau opérationnel, et également à éclairer la prise de décisions tactiques.

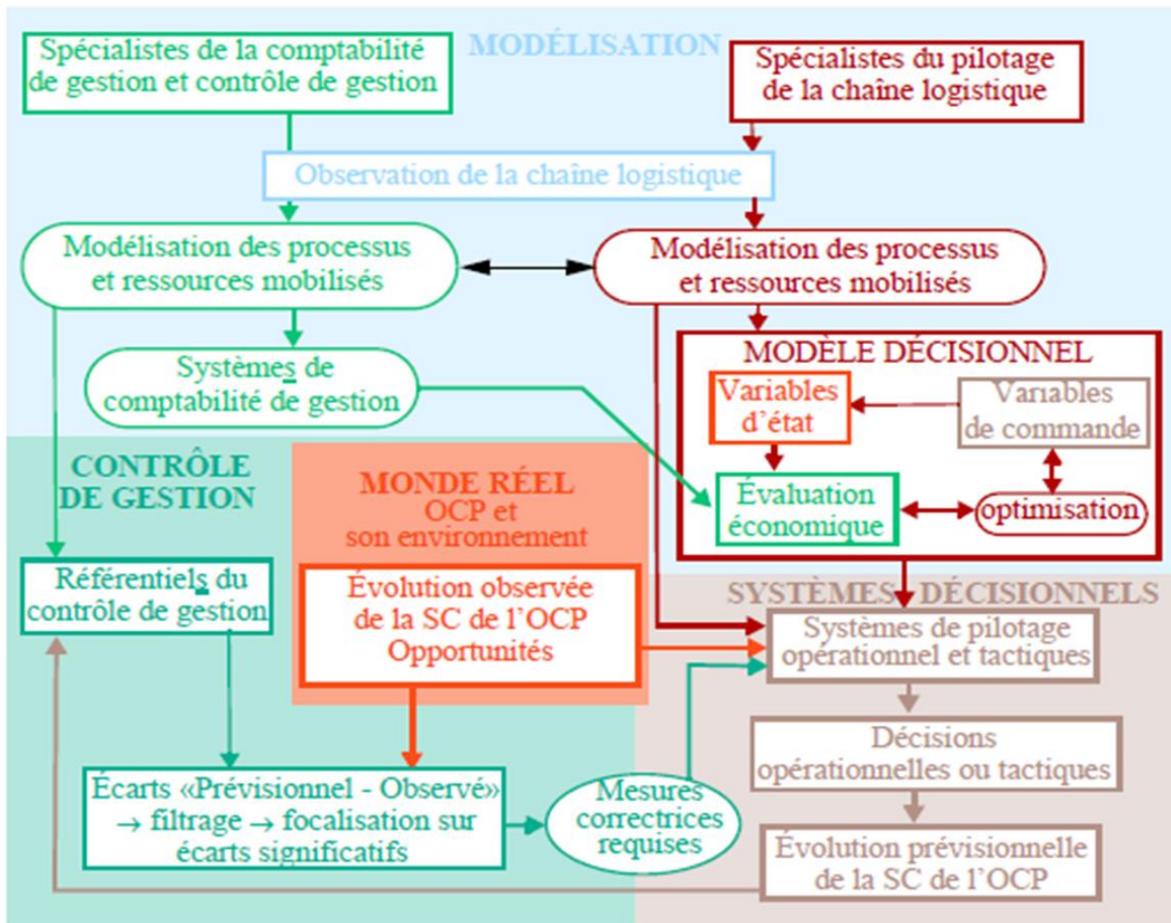


Figure 3: Reliances entre contrôle de gestion et génie industriel pour la Supply Chain de l'OCP SA dans le cadre de la chaire d'optimisation industrielle

De manière générale, quelle que soit la CL étudiée, nous avons trois niveaux temporels [Fenies, 2006]:

- (i) le niveau stratégique, qui correspond aux problèmes de conception et de construction du réseau de la CL;
- (ii) le niveau tactique qui correspond à l'utilisation du réseau, et à l'adéquation ressources/besoins ;
- (iii) le niveau opérationnel qui concerne le pilotage de la CL à court terme.

Ces différents horizons demandent des niveaux de granularité différents pour toute étude de modélisation réalisée pour apporter des outils d'aide à la décision. Nous proposons de coupler la vue temporelle avec les différents types de niveaux de granularité envisageables sur les CL. Pour ce faire, nous reprenons les approches dégagées par [Chabrol et al., 2006]. Ainsi, trois approches permettent de caractériser, dans le cadre d'une approche de modélisation par les flux, les types de modélisation :

- (i) l'approche macroscopique qui considère les flux dans un système complexe comme un phénomène agrégé ;
- (ii) l'approche mésoscopique, qui propose une agrégation des entités sous forme de paquets et constitue un niveau intermédiaire entre le macroscopique et le microscopique ;
- (iii) l'approche microscopique qui considère les interactions individuelles et considère l'unité de flux.

Le tableau 1 montre que l'on peut coupler ces trois approches avec les différents horizons temporels et montre aussi que l'objet des instrumentations que nous cherchons à proposer se situe à l'interface des niveaux mésoscopiques et microscopiques avec les décisions tactiques et opérationnelles.

	Macroscopique Supply Chain	Mésoscopique Site industriel	Microscopique Processus
Stratégique	Contexte de la recherche	Contexte de la recherche	Contexte de la recherche
Tactique	Contexte de la recherche	Objet des instrumentations	Objet des instrumentations
Opérationnel	Contexte de la recherche	Objet des instrumentations	Objet des instrumentations

Tableau 1: Le couplage des horizons décisionnels et des approches de modélisation pour déterminer l'objet des instrumentations proposées.

Notre objectif est donc de proposer aux concepteurs des systèmes logistiques de type Chaîne Logistique Hybride, un ensemble de méthodes et d'outils puissants d'aide à la décision, qui leur permet d'évaluer et d'améliorer les performances de leurs systèmes.

Notre objectif de conception d'une application décisionnelle nécessite d'utiliser un environnement de modélisation existant ou de le concevoir si les environnements existants apparaissent insuffisants. La complexité des systèmes managériaux a conduit [Gourgand et Kellert, 1991] à proposer la notion d'environnement de modélisation pour parvenir à concevoir une application pour l'aide à la décision. Un environnement correspond à la notion d'atelier de Génie Logiciel pour la modélisation et l'évaluation des performances. Ils définissent un environnement de modélisation comme étant un ensemble comprenant :

- un logiciel d'évaluation des performances (noyau de l'environnement), (il nécessite une phase de validation s'il repose sur la simulation car la simulation ne repose pas sur une base mathématique) ;
- des outils graphiques, de type Graphic User Interface (GUI) : pour la saisie du modèle conceptuel, pour la spécification du système modélisé, pour l'exploitation des résultats, pour l'animation ;
- un système d'aide à la décision, pour accéder aux outils d'aide à la décision ;
- un système de gestion de bases de données, pour alimenter le modèle d'aide à la décision ;
- une couche recherche opérationnelle et statistique pour exploiter les résultats fournis par le noyau de l'environnement ;
- une méthode de spécification et d'analyse, ainsi que les outils associés pour décrire la structure, le comportement des flux, et le fonctionnement du système ;
- une méthodologie de modélisation du domaine pour la construction des modèles d'aide à la décision : cette couche est le socle de l'environnement et explique comment utiliser ce dernier.

La figure 4 donne la composition d'un environnement de modélisation complet pour le domaine de l'évaluation des performances tel qu'il pourrait être conçu pour les processus logistiques hybrides.

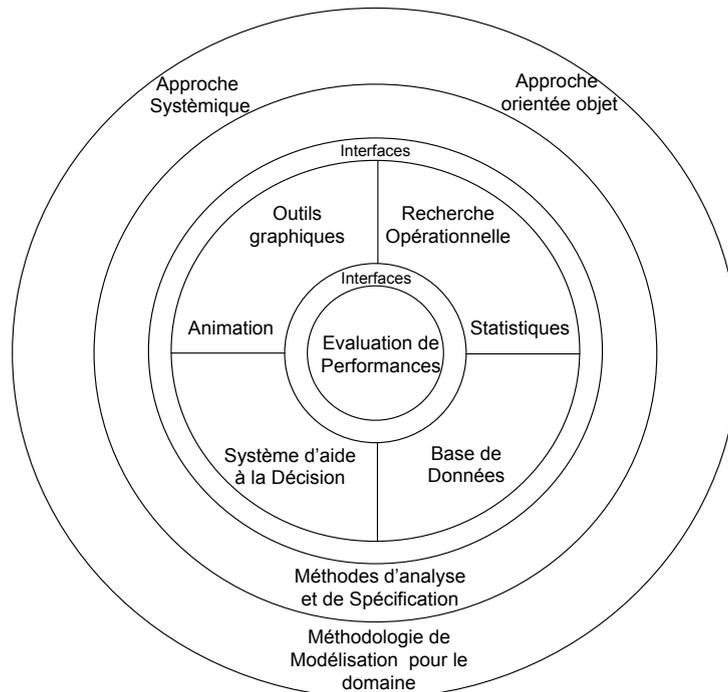


Figure 4: Définition d'un environnement de modélisation pour l'évaluation de la performance de la chaîne logistique hybride.

C. Positionnement épistémologique

Cette thèse est dans une logique cumulative de la recherche : les filiations sont doubles puisqu'elle s'inscrit dans la lignée des travaux sur la simulation pour la gestion proposées dans différentes recherches actions dirigées par le professeur Giard [Sali, 2012 ; Chatras, 2016] tout en proposant un environnement de modélisation pour les processus logistiques hybrides dans la tradition des recherches menées en gestion industrielle et en informatique au LIMOS [Tchernev, 1997 ; Sarramia, 2002 ; Fenies, 2006 ; Comelli, 2008].

Cette thèse est également à l'interface des Sciences de Gestion et des Sciences pour l'Ingénieur (SPI) :

- son objet de recherche est gestionnaire, la construction d'un système de contrôle de gestion opérationnel ou l'extension d'outils du contrôle de gestion au niveau opérationnel ;
- la méthode de la recherche et les outils mobilisés sont plus issus des (SPI) et notamment du génie industriel, puisque la simulation à événement discret sont considérés comme étant des outils « ingénieriques ».

Selon [Chanal, 2017], la recherche ingénierique s'apparente par certains côtés à la recherche-action par le fait que l'on s'intéresse principalement à des processus de changement organisationnel et que l'on implique les acteurs affectés par le changement dans la démarche de recherche. Elle s'en distingue cependant en imaginant un nouveau statut de "chercheur-

ingénieur" qui conçoit l'outil support de sa recherche, le construit, et agit à la fois comme animateur et évaluateur de sa mise en œuvre dans les organisations.

Dans notre démarche, nous sommes partis d'une confrontation d'un problème sur le terrain, avec un état des lieux des connaissances afin de traiter le problème. Notre thèse s'inscrit dans le cadre d'une « recherche ingénierique » où le chercheur devient un « ingénieur organisationnel » qui conçoit un outil, le met en place dans l'entreprise et l'évalue avec les utilisateurs.

D. Architecture de la thèse

Même si nous proposons une démarche qui dépasse le champ de l'OCP SA, nous essayons tout au long de la thèse d'illustrer dans chaque chapitre les principes et idées relativement à la problématique industrielle de l'OCP SA.

Cet ouvrage est structuré en quatre chapitres (figure 5). Le premier chapitre situe le domaine de l'étude, qui est celui de la simulation pour les processus hybrides. Dans ce chapitre, nous allons justifier l'intérêt de recourir à la Simulation à Événements Discrets (SED) comme artefact exclusif pour modéliser une CLH. Dans ce même chapitre, nous allons présenter la méthode de recueil de connaissances ainsi que la définition de la modélisation – simulation avec les différentes techniques afférentes.

L'idée du deuxième chapitre est d'analyser l'intégration des approches de contrôle de gestion et les modèles de comptabilité analytique dans les modèles d'aide à la décision pour la Supply Chain Management (SCM). Ce chapitre est consacré à une collecte d'informations traitant des différents aspects du Supply Chain Costing (SCC) ainsi que les différentes méthodes de valorisation. Dans un premier temps, nous abordons la notion de performance dans le cadre du SCC ainsi que les limites des approches existantes du SCC pour l'évaluation des performances. Dans un deuxième temps, nous présenterons la pertinence de la méthode Activity Based Costing (ABC) ainsi que son couplage avec la SED pour révéler la formation des coûts dans la Supply Chain (SC). Ce chapitre se focalise sur le problème que nous cherchons à résoudre, à savoir l'intégration de modèles de contrôle de gestion dans les logiciels de simulation pour permettre un pilotage économique des activités et dresse un panorama de la recherche actuelle sur le domaine.

Dans le troisième chapitre, nous allons justifier le choix de notre approche qui sera utilisable pour construire un SIAD orienté contrôle de gestion opérationnel dans le contexte d'une CLH. Nous allons également présenter l'approche ainsi que les modèles de coût que nous proposons. Cette approche doit permettre le couplage entre ABC et la simulation car la désynchronisation des processus continus / discrets dans la CLH constitue un point de définition des inducteurs de coûts ABC et des leviers d'action associés pour le management de la CLH. Cette mise en œuvre devrait permettre de valider :

- la construction de couplage entre la SED et ABC pour la CLH ;
- la construction d'un modèle ABC permettant d'évaluer le flux physique d'une CLH ;
- la construction de règles de traduction entre système de contrôle de gestion pour entité fonctionnelle et système de contrôle de gestion pour entité processuelle.

Le quatrième chapitre est consacré à la mise en œuvre des construits proposés dans les chapitres précédents dans le contexte de la CLH de l'OCP SA. Nous présentons ainsi l'instanciation de la démarche que nous proposons dans le chapitre 4 sur les processus hybrides d'un des maillons de la CL de l'OCP SA sur le site chimique de Jorf. Ainsi, nous

détaillons les recueils de connaissance que nous avons réalisés sur la partie physique comme sur le modèle de contrôle de gestion associé sur le site de Maroc Phosphore. La description des différents sous-systèmes de Maroc Phosphore permet la spécification des flux et de comprendre le fonctionnement du système actuel. Nous allons également décrire le couplage entre les modèles de simulation et modèles de coûts qui s'apparente à une suite logicielle de type Système Budgétaire Avancé (SBA) ou Advanced Budgeting System [Fenies, 2006, 2012] et qui constitue la nouvelle brique logicielle pour la planification et la budgétisation. Nous présentons quelques scénarios organisationnels qui montrent la pertinence de notre approche mais aussi ses limites.

Avertissement pour le lecteur

Ce manuscrit peut se lire de deux manières :

- Il est possible de lire les éléments empiriques du chapitre 4 indépendamment du reste du document : le lecteur intéressé uniquement par la dimension empirique de nos travaux peut aller directement à ce chapitre et comprendre les conséquences associées à la mise en œuvre de nos propositions méthodologiques, conceptuelles et logicielles réalisées dans les chapitres précédents.
- La lecture exhaustive du document permet de comprendre dans le détail la démarche d'ensemble de notre recherche. Les chapitres 1 et 2 listent l'état actuel de la recherche sur les différents éléments de la boîte à outils (l'environnement de modélisation) que nous proposons dans le chapitre 3 pour l'évaluation économique des processus logistiques hybrides. Le chapitre 3 donne également le mode d'emploi (méthodologie de modélisation) de la boîte à outils, tandis que le chapitre 4 présente le résultat de la mise en œuvre de notre boîte à outil dans le contexte de OCP SA.

Les travaux présentés dans ce manuscrit ont fait l'objet de plusieurs publications (pour l'ensemble de ces publications, l'ordre de présentation des auteurs est alphabétique, et l'auteur ou les auteurs principaux de la publication est souligné) :

- Lecture note in computer science (LNCS Springer) :

General Use of the Routing Concept for Supply Chain Modeling Purposes: The Case of OCP SA **Auteurs:** M. Degoun, A. Drissi, P. Fenies, V. Giard, K. Retmi & J. Saadi, LNCS Springer, 2014.

- Publications en cours :

Building an operational controlling system for continuous or hybrid supply chains **Auteurs:** P. Fenies, V. Giard, K. Retmi & J. Saadi, Supply Chain forum, Processus navette.

- Communications en conférences :

MOSIM 2014 (du 05/11/2014 au 08/11/2014) Généralisation du concept de gamme pour modéliser les processus logistiques d'une supply chain : Cas de l'OCP SA / **Lieu :** Nancy / **Auteurs :** M. Degoun, A. Drissi, P. Fenies, V. Giard, K. Retmi & J. Saadi

CIGI 2015 (du 26/10/2015 au 28/10/2015) Propositions de règles de modélisation pour une simulation discrète d'une chaîne logistique hybride. / **Lieu :** Québec / **Auteurs :** M. Degoun, P. Fenies, V. Giard, K. Retmi & J. Saadi

CIGI 2015 (du 26/10/2015 au 28/10/2015) **Intitulé de l'article :** Évaluation de la performance économique d'une chaîne logistique hybride. / **Lieu :** Québec / **Auteurs :** M. Degoun, P. Fenies, V. Giard, K. Retmi & J. Saadi

ILS 2016 (du 01/06/2016 au 04/06/2016) **Intitulé de l'article** : Building an operational controlling system for continuous or hybrid supply chains / **Lieu** : Bordeaux / **Auteurs** : P. Fenies, F. Fontane, V. Giard, K. Retmi & J. Saadi

RIRL 2016 (du 07/09/2016 au 09/09/2016) **Intitulé de l'article** : Construction d'un contrôle de gestion opérationnel pour une chaîne logistique continue ou hybride / **Lieu** : Lausanne / **Auteurs** : P. Fenies, F. Fontane, V. Giard, K. Retmi & J. Saadi /

Consortium doctoral AIRL 2016 (du 07/09/2016 au 09/09/2016), **Lausanne**

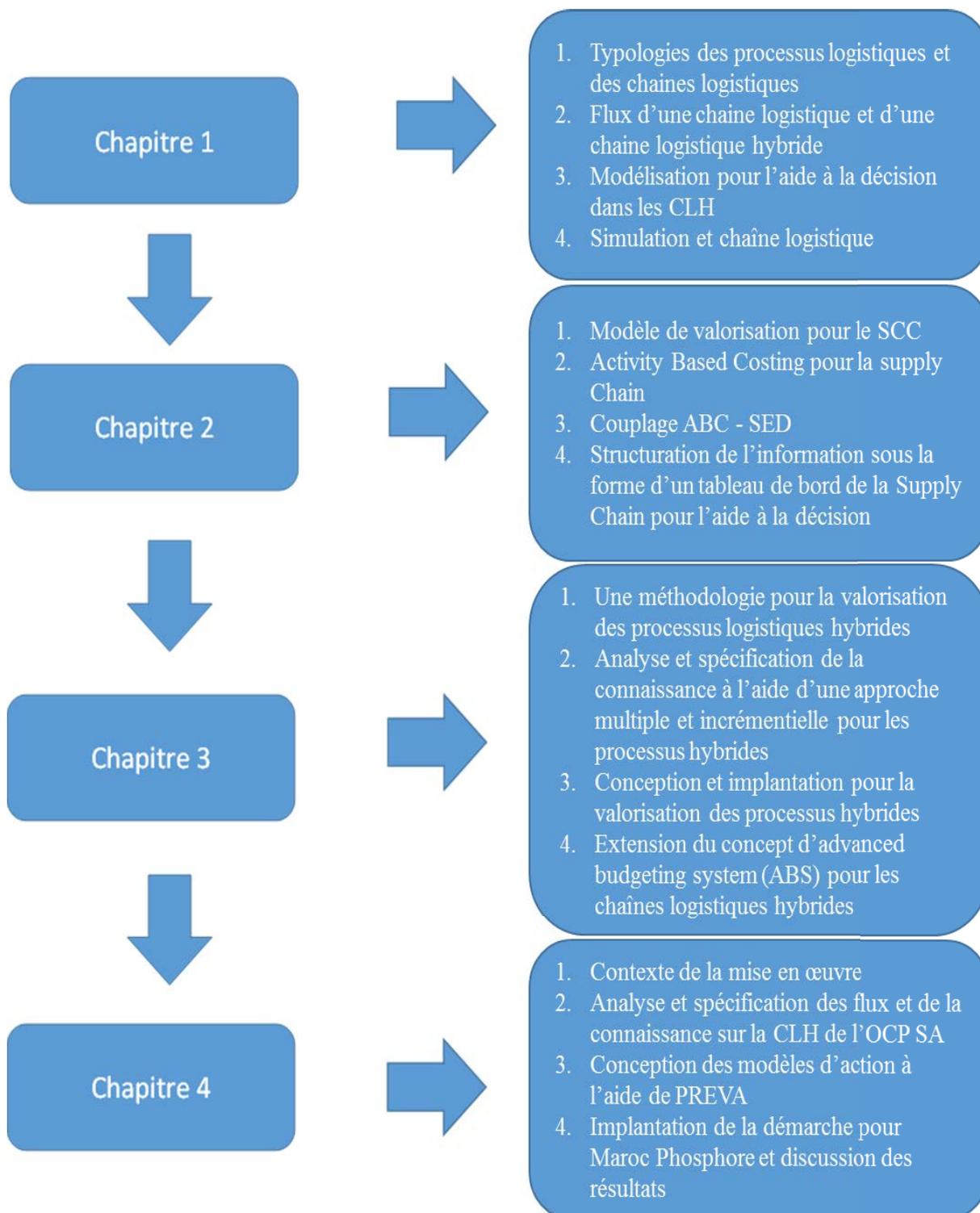


Figure 5: Le plan général du document

Chapitre 1 : Etude du contexte : la Modélisation et la Simulation des processus logistiques hybrides

Table des matières

1	Typologies des processus logistiques et des chaines logistiques	18
1.1	La chaîne logistique	18
1.2	Les processus dans la CL / la CLH	21
1.3	Processus logistique discret et chaîne logistique discrète	21
1.4	Processus logistique continu et chaîne logistique continue	22
1.5	Processus logistique hybride et chaîne logistique hybride	23
2	Flux d'une chaîne logistique.....	24
2.1	Les différents flux d'une chaîne logistique	24
2.2	La gestion des flux dans une CL	26
2.2.1	Le pilotage des flux	26
2.2.2	Le Supply Chain Management	28
3	Modélisation pour l'aide à la décision dans les CLH	30
3.1	Les différents types de décisions.....	30
3.1.1	Typologie d'Anthony (1965).....	30
3.1.2	Décisions programmables / non programmables dans le contexte de Maroc Phosphore.....	33
3.2	La méthode de recueil des connaissances pour les processus logistiques : le Business Process Management (BPM).....	35
3.3	Choix d'une méthode de modélisation.....	37
3.4	Modélisation de la CL par une approche multi-agent.....	38
3.5	Modélisation de la CL par les réseaux de pétri	39
4	Simulation et chaine logistique	40
5	Conclusion.....	46

Ce chapitre cherche à caractériser une chaîne logistique (CL) par rapport à la nature de ses processus de transformation, lesquels peuvent conduire à une modification physique des produits ou à un changement de leur localisation (transport). Ainsi, nous différencions trois types de chaînes logistiques, que nous appelons Chaîne Logistique Discrète (CLD), Chaîne Logistique Continue (CLC) et Chaîne Logistique Hybride (CLH) ; chacune de ces CL est composée de processus portant le même nom et la nature du processus constitue pour le chercheur comme pour l'industriel un défi quant à son évaluation. Comme la chaîne logistique de l'OCP SA est un système de la classe des CLH, et que notre objectif est la construction d'un SIAD orienté contrôle de gestion, nous justifierons par une analyse de la littérature le choix des chercheurs de la chaire d'optimisation industriel d'utiliser les approches de SED pour les CLH.

Les éléments principaux de ce chapitre ont été publiés dans [Degoun, Retmi et al, 2014, 2015].

1 TYPOLOGIES DES PROCESSUS LOGISTIQUES ET DES CHAINES LOGISTIQUES

Le premier paragraphe de cette section se focalise sur la définition d'une CL suivi par les définitions des trois types de processus et CL. Le deuxième paragraphe présente les définitions des processus dans la CL.

1.1 La chaîne logistique

Selon [Jones et al, 1985], La CL regroupe la planification et le pilotage de l'ensemble du flux matière depuis le fournisseur jusqu'au client final en passant par le producteur et le distributeur. [Ellram, 1991] définit la CL comme un réseau d'entreprises en interaction, liées entre elles par divers flux, depuis l'approvisionnement en matières premières jusqu'à la livraison finale, et oeuvrant à la réalisation de produits ou de services pour des clients finaux. Pour [Christopher, 1992], La CL peut être considérée comme le réseau d'entreprises qui participe, en amont et en aval, aux différents processus et activités qui créent de la valeur sous forme de produits et de services apportés au consommateur final. En d'autres termes, une CL est composée de plusieurs entreprises, en amont (fourniture de matières et composants) et en aval (distribution), et du client final. Selon [Lee et al, 2002], la CL est un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution du produit fini vers le client. [La londe et al, 1994] définissent la CL comme un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Les CL existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre [Ganeshan et al, 1995]. Pour [Tsay et al, 1999], une CL est un ensemble de deux ou plusieurs entreprises liées par des flux de marchandises, d'informations et des flux financiers. [Tayur et al, 1999] définissent la CL comme un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'informations dans les deux sens. Une CL est constituée de deux ou plusieurs organisations indépendantes, liées par des flux physiques, informationnels et financiers, ces organisations peuvent être des entreprises produisant des composants, des produits intermédiaires et des produits finis, des prestataires de service

logistique et même le client final lui-même [Stadler et al, 2000]. Tandis que [Mentzer et al, 2001] définissent la CL comme un groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amont et aval de produits, services, finances et / ou information, qui vont d'une source jusqu'à un client. Une CL est le système grâce auquel une entreprise amène ses produits et ses services jusqu'à ses clients [Poirier et al, 2001]. Pour [Rota-Franz et al, 2001], la CL d'un produit fini se définit comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus d'approvisionnement en composants, de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime. Une CL est un réseau mondial d'organisations qui coopèrent pour améliorer les flux entre les fournisseurs et les clients au moindre coût et à une vitesse plus élevée. L'objectif de la chaîne d'approvisionnement est la satisfaction du client [Govil, 2002]. Selon [Giard, 2003], la CL est un concept popularisé au milieu des années quatre-vingt-dix, qui regroupe un certain nombre de principes connus. Considéré par certains, essentiellement comme un argument de vente de consultants, ce concept a pour principal intérêt de forcer à une vision « processus », l'analyse et la résolution de problèmes interdépendants, le plus souvent traités de manière indépendante à la fois pour des raisons organisationnelles (périmètre de responsabilité lié aux services) et intellectuelles (réduction cartésienne de la complexité). [Génin, 2003] définit une CL comme un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la vitesse des processus et activités entre les fournisseurs et les clients. Si l'objectif de satisfaction est le même, la complexité varie d'une CL à l'autre. La CL est considérée comme un réseau, à savoir, les activités, qui transforment les intrants en produits finis en utilisant les ressources disponibles [De Kok al, 2003]. Pour [Fenies, 2006], la CL est un système complexe décrit comme :

- Un ensemble ouvert traversé par des flux financiers, matériels et informationnels ;
- Un réseau composé d'entités physiques (usines, ateliers, entrepôts, distributeurs, grossistes, détaillants) et d'organisations autonomes (firmes, filiales, Business Unit (BU), etc) ;
- Un ensemble d'activités regroupées dans un processus logistique dont l'agencement constitue une chaîne de valeur inter et intra-organisationnelle.

Pour [Özbayrak et al, 2007], une CL se définit comme un réseau d'organisations qui sont impliquées dans le traitement d'une fonction de l'entreprise tels que la fabrication, la distribution, la fourniture, la sous-traitance..., à tout stade de la chaîne de valeur. Dans une CL, il y a trois types de flux, celui des matières, de l'information et de la finance. Selon [Pienaar, 2009], la CL est une description générale de l'intégration des processus impliquant les organisations à transformer les matières premières en produits finis et de les transporter à l'utilisateur final. [Lu, 2011] définissent la CL comme un groupe d'entreprises liées qui ajoutent de la valeur à des flux d'entrées, transformés de leur source d'origine, en des produits ou services finaux qui sont demandés par les clients finaux désignés. Pour [Sali, 2012], la structure de la CL se définit par l'agencement des différents maillons d'une CL. Elle est représentable par un graphe où les sommets représentent les unités de production, de stockage ou de vente, et les arcs, les flux physiques et informationnels reliant ces mêmes unités. Cette structure contraint la circulation des flux de biens et d'informations et conditionne la complexité des représentations, modélisations et instrumentations mobilisables mais aussi la validité des descriptions et prescriptions. La CL est un réseau de partenaires d'affaires impliqués dans les processus de production qui transforment les matières premières en biens ou services finis afin de satisfaire la demande des consommateurs [Mensah et Merkuryev,

2014]. [Charkaoui, 1997], dans sa thèse, traduit « SC » par une chaîne clients-fournisseurs qui recouvre l'ensemble des mécanismes permettant de fournir des produits ou des services au bon moment, avec les bonnes quantités et au bon endroit :

- Elle traite l'ensemble des infrastructures, de l'organisation, des processus physiques et de l'information nécessaires à la mise à disposition de ces produits-services, depuis la matière première jusqu'au client final ;
- Elle inclut les processus d'achats-approvisionnements, de production et de distribution, et doit opérer de façon entièrement intégrée avec les ventes, le marketing et le développement de produits nouveaux.

La CL a pour objectif le pilotage de l'ensemble des ressources et des processus qui rendent possible la circulation des flux matières, informationnels et financiers depuis les fournisseurs jusqu'aux clients, et ceci sur cinq axes :

- Un ajustement plus rapide des réponses de l'entreprise aux besoins des clients ;
- Leurs mises en œuvre en cherchant à réduire au minimum leurs temps de réalisation ;
- Une utilisation optimum des capacités de l'outil industriel ;
- La recherche d'un coût global minimum ;
- La maîtrise d'une qualité totale dans les différents processus.

Littéralement, le terme « SC » se traduit par « chaîne d'approvisionnement ». Cependant, peu d'auteurs dans la littérature définissent une SC comme une chaîne d'approvisionnement. [Frazelle, 2002] est un des rares auteurs américains à la définir ainsi, mais c'est pour différencier "SC" et "Logistique". Une étude approfondie de la littérature montre cependant que les spécialistes anglo-saxons du domaine n'assimilent pas complètement ces concepts [Christopher, 1998 ; Christopher, 1999 ; Ganeshan et Harrison, 1995]. Dans les pays francophones, la SC est assimilée par certains à la CL [Pirard et al, 2006 ; Lauras, 2004 ; Thierry, 2003 ; Ouzizi, 2005]. [Ballou, 1992 ; Kearney, 1994 ; Poirier et Reiter, 1996] définissent la SC comme l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime.

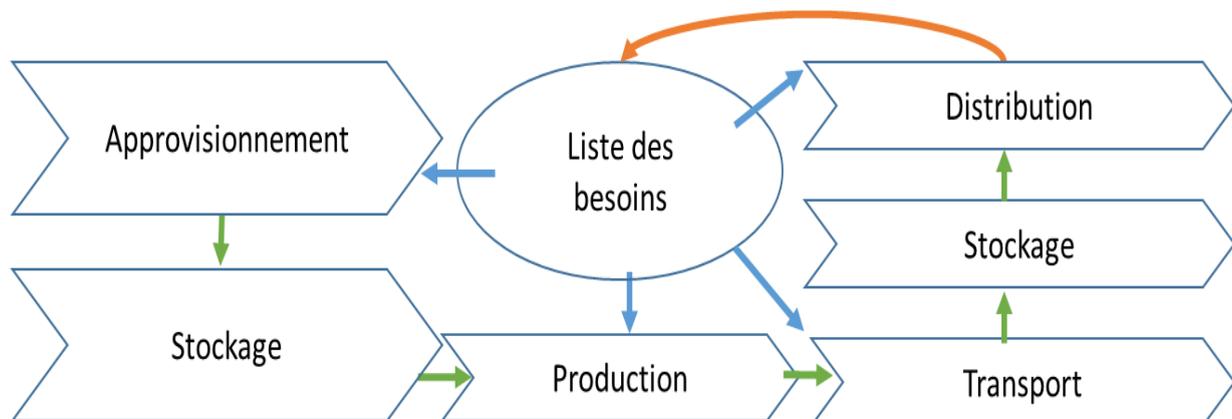


Figure 6: Une représentation des processus d'une chaîne logistique

La modélisation du fonctionnement d'une CL passe par une modélisation des processus qui la composent et de leurs enchaînements. On retiendra une approche générique de représentation des processus, indépendante des instrumentations disponibles. Trois cas de figures peuvent être distingués : Processus Logistique Discret (PLD) et CLD, Processus Logistique Continu (PLC) et CLC, et Processus Logistique Hybride (PLH) et CLH.

1.2 Les processus dans la CL / la CLH

Selon [Chabrol et al, 2006], un processus est défini comme un ensemble d'activités destiné à fournir un produit ou un service qui contribue à l'atteinte des objectifs du système. Les activités d'un processus transforment des éléments d'entrée en éléments de sortie en apportant une valeur ajoutée, tandis que les processus sont toujours orientés vers les "clients" [Rakotondrannaivo et al, 2004]. Un processus peut comprendre des activités réalisées par différentes entités. Ce qui induit des points de rencontre appelés « interfaces », points déterminants de l'amélioration du produit ou du service rendu auprès du bénéficiaire. Une procédure formelle ou informelle décrit la mise en œuvre d'un processus dans la chaîne d'activités [Brandeburg et Wojtyna, 2003 ; Cattan et al, 2001 ; Mougin, 2002]. La valeur fournie par une organisation résulte d'une combinaison d'activités et de processus, ou chaîne de valeur [Lorino, 2009]. Le processus logistique, élément intégrateur dans la SC est défini par [Tchernev, 1997] comme un ensemble d'activités ordonnées ayant comme objectif la maîtrise et la gestion des flux à travers le système étudié, l'affectation et la gestion des ressources du système étudié afin d'assurer un niveau de service donné au moindre coût.

Processus et activité sont différenciés par la notion de tâche élémentaire. Selon [Romeyer, 2001], une activité est un ensemble de tâches homogènes qui mobilisent des inputs pour les utiliser ou les transformer en outputs. Par contre, selon [Lorino et Tarondeau, 2006], un processus est composé d'activités hétérogènes organisées en réseau de manière séquentielle... permettant la production de résultats ou outputs ayant de la valeur pour un client. Un processus organisationnel doit produire de la valeur pour le client du processus [Hammer et Champy, 2009].

[Staedtler, 2005] considère que le processus logistique est constitué de 4 grandes familles d'activités génériques :

- Approvisionner en matières et services ;
- Fabriquer des produits et services ;
- Distribuer les produits et services ;
- Vendre les produits et services.

L'approche par les processus de la CL consiste à organiser les activités entre les entreprises et dans l'entreprise de manière à satisfaire le client final [Hau et Billington, 1993 ; Beamon, 1998 ; New and Payne, 1995].

1.3 Processus logistique discret et chaîne logistique discrète

Une CLD est constituée d'un ensemble de processus de transformation de flux discrets, organisant de manière intégrée les processus de transformation du fournisseur jusqu'au client final, avec des logiques de production par lots ou à l'unité. Une CL dédiée à la fabrication de biens (production discrète) se décrit comme un ensemble de processus élémentaires discrets. On désignera sous le terme générique d'item les composants et produits intervenant dans un processus de production discret. Dans un processus élémentaire (Figure 7), un processeur prélève un ou plusieurs items dans un (ou plusieurs) stock(s) pour les traiter pendant un certain temps. Une fois le traitement achevé, le produit résultant, qui peut correspondre à un ou plusieurs items, est envoyé dans un ou plusieurs stocks. La structure volumique des produits entrants et sortants est décrite par des coefficients de nomenclature (k_i et h_j , dans la figure 7) ;

le temps opératoire d'une production, définie par les quantités correspondant aux coefficients de nomenclature, est donné par la gamme de production. Un processeur peut être spécialisé dans une production (même gamme et même nomenclature) ou non. Chaque stock d'entrée ou de sortie d'un flux contient, à chaque instant, un ensemble d'objets physiques de même nature (même référence de produit, même volume unitaire...) ou non. Il se caractérise également par une capacité maximale, définie par un nombre d'objets ; si les produits contenus dans le stock sont hétérogènes, la capacité est définie par un nombre d'objets d'une référence retenue pour calculer la capacité utilisée par un ensemble d'objets hétérogènes. Une CLD (figure 8) est constituée par l'agencement de plusieurs processus élémentaires, ce type de CL, nous le retrouvons dans le domaine hospitalier, automobile... alors qu'un PLD est un ensemble d'activités discrètes qui transforment les éléments d'entrée en éléments de sortie sous forme de lot.

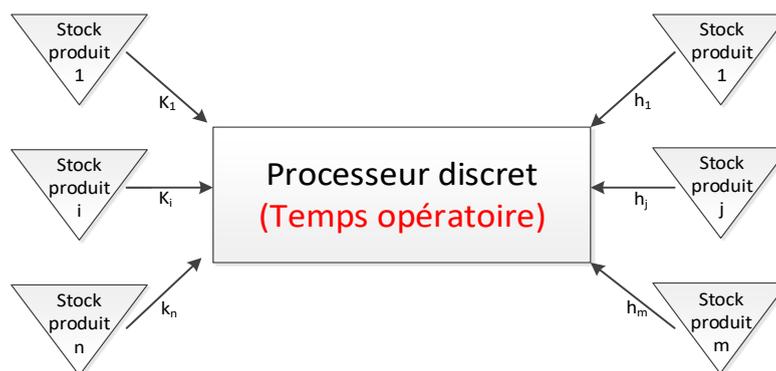


Figure 7: Modélisation d'un processus élémentaire d'une production discrète

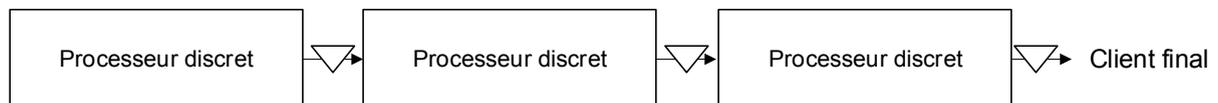


Figure 8: Chaîne logistique discrète

1.4 Processus logistique continu et chaîne logistique continue

Une CLC est constituée par une succession de processus de transformation de flux continus, organisant de manière intégrée ces processus de transformation du fournisseur jusqu'au client final. Dans un processus continu élémentaire, un ou plusieurs flux entrants sont admis par un processeur pour y subir un traitement ; ces flux sont caractérisés par leur nature (type de produit) et leurs débits. Du processeur sortent un ou plusieurs flux, également caractérisés par leurs natures et leurs débits. La transformation réalisée par le processeur (transformation chimique, par exemple) implique que les débits entrants et sortants soient liés par des proportions déterminées, ce qui correspond à une nomenclature. Dans une production continue stable, impliquant toujours les mêmes intrants et extrants et des débits stables, la connaissance du temps de traitement réalisée par le processeur est sans grand intérêt. Lorsque ces caractéristiques varient (changement de programme de production, maintenance, modification de débits), les changements opérés en entrée ne se répercutent pas immédiatement en sortie du processus. La durée de ce temps de traitement s'apparente à un temps opératoire. Chaque stock d'entrée ou de sortie d'un flux se caractérise par la référence du produit qu'il contient, par sa capacité maximale, définie par un volume de produit (ou son

poinds). Une CLC (figure 10) est constituée par l'agencement de plusieurs processus continus, ce type de CL, nous le retrouvons dans les industries chimiques, agroalimentaires... alors qu'un PLC est un ensemble d'activité continues qui transforment les éléments d'entrée en éléments de sortie sous forme de flux.

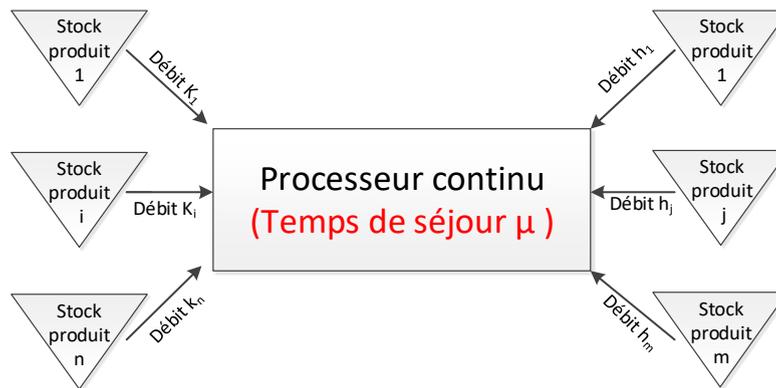


Figure 9: Modélisation d'un processus élémentaire d'une production continue

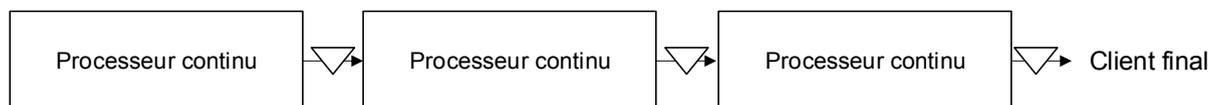


Figure 10: Chaîne logistique continue

1.5 Processus logistique hybride et chaîne logistique hybride

Une CLH est constituée d'un ensemble articulé de CLD et CLC organisant de manière intégrée les processus de transformation du fournisseur jusqu'au client final, et pour lesquels les logiques de production sont à la fois par lots et en flux. Les chaînes logistiques hybrides combinent des processus discrets et continus. La représentation d'un tel système est possible par des enchaînements de stocks et de processeurs, à condition de préciser les mécanismes de conversion des items et/ou flux échangés entre deux processus successifs discrets et/ou continus, la nature du contenu d'un stock étant radicalement différente selon que l'on considère qu'il est alimenté par un flux ou par des items. Un processus logistique hybride (PLD) est un assemblage d'un PLD et d'un PLC.

Selon [Fenies, 2006], une CL et donc une CLH est un ensemble traversé par des flux humains, matériels, informationnels et financiers, composé d'entités variées autonomes. Ces entités utilisent des ressources consommables (matériel, capital, ...) et coordonnent leur action par un processus logistique intégré afin d'améliorer prioritairement leur performance collective mais aussi à terme leur performance individuelle (maximisation de la valeur créée par une entité). La complexité d'une CLH est due à la structure du processus logistique et au nombre d'entités qui interagissent simultanément, de manière autonome ou concertée sur les flux. Ainsi, toute modélisation de la CLH repose avant tout sur la modélisation de son processus logistique

Le tableau 2 présente la différence entre les trois types de processus logistiques.

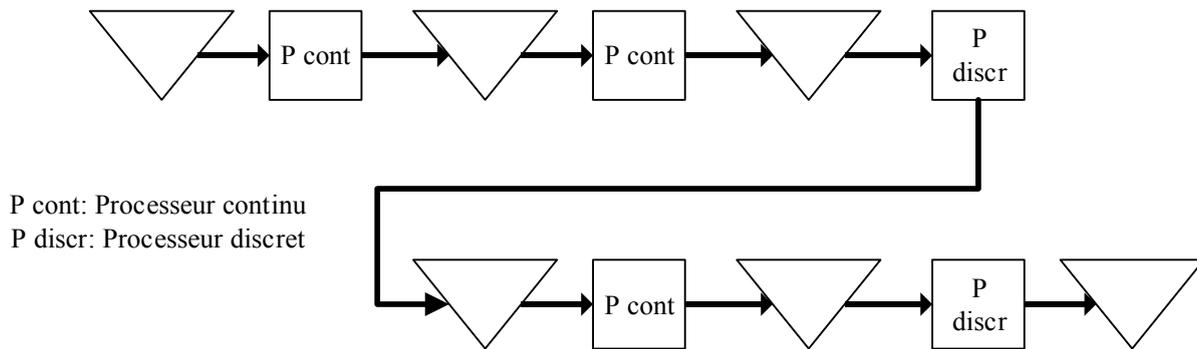


Figure 11: Enchaînement de processus discrets et logistiques pour constituer un processus hybride.

	Objet	Temps
Processus logistique discrète (CLD)	Un item caractérisé par un poids	Temps opératoire
Processus logistique continue (CLC)	Flux caractérisé par un débit	Temps de séjour
Processus logistique hybride (CLH)	Item + flux	Temps opératoire + temps de séjour

Tableau 2: Différences entre les trois types de processus logistiques.

2 FLUX D'UNE CHAÎNE LOGISTIQUE

Le premier paragraphe de cette section présente les différents flux d'une CL tandis que le deuxième paragraphe se focalise sur la gestion des flux dans une CLH.

2.1 Les différents flux d'une chaîne logistique

Selon [Lapide, 2000] une CL est traversée au minimum par trois flux :

- Le premier flux est le flux physique (achat de matières, transformation des matières premières en produits, livraison des produits) [Tan et al, 1998]. L'optimisation de ce flux vise à satisfaire les clients du système. Selon [Tchernev, 1997], un flux physique est un ensemble d'unités circulant dans l'espace, sur une surface, sur un plan, sur une courbe ou sur une droite suivant une loi précise. La durée des processus de traitement de ces flux permet de planifier la productivité d'un système, tandis que la liaison quantité/temps décrit la productivité du système relativement à ce flux physique. Quant à la nature de ce flux, elle peut être caractérisée selon trois critères : la répétitivité, la complexité, et le degré d'incertitude de la demande. Un flux physique de production industrielle est un déplacement, dans le temps et dans l'espace, d'éléments matériels, depuis la réception des matières premières ou composants pouvant être des sous-ensembles, jusqu'à l'arrivée chez le client, d'éléments qui subissent des transformations et qui doivent répondre à une attente extérieure [Biteau et al, 2003]. Le flux physique peut être de nature directe lorsqu'il concerne uniquement deux entités (le producteur et le client final) ou triangulaire lorsque le site de facturation et le site de

production différent. La propagation du flux physique est donc unilatérale, de l'amont vers l'aval, du producteur vers un intermédiaire ou un client final.

- Le deuxième flux est le flux financier. Ce flux circule en sens inverse du flux physique. L'optimisation du flux financier est faite de manière locale, dans chaque maillon de la CL, mais rarement de manière globale. L'optimisation de ce flux financier (cash-flow) permettra a priori d'obtenir la satisfaction des actionnaires des entités de la SC et d'améliorer le fonctionnement global d'une CL [Shapiro 2001]. Selon [Lysons and Gillingham, 2003], le flux financier est impacté par les objectifs des actionnaires des entités de la SC à long terme, la politique de crédit-client des entreprises constituant la CL à moyen terme, et l'ordonnancement de la trésorerie à court terme. Le flux financier vise à satisfaire les acteurs ayant contribué au fonctionnement de la CL (entités légales, ressources humaines, actionnaires, banques ...). Selon [Fenies, 2006], pour beaucoup de non spécialistes, il y a confusion entre le flux financier (matérialisé sur une période par les cash flows générés) et l'évaluation des coûts proposés par les modèles du contrôle de gestion. En effet, même s'ils sont libellés en unités monétaires, les modèles de comptabilité analytique produisent de l'information sur les niveaux de profits et de coûts générés par l'activité du flux physique, mais ne permettent absolument pas de connaître le niveau de cash-flow généré, puisqu'ils ne prennent pas en compte la nature des charges et des produits (décaissés / calculés) ni les délais de paiements. [Egret, 2013] définit le flux financier comme une contrepartie monétaire du flux physique appelé « cash-flows », ces flux sont créés avec les différentes activités que subissent les flux physiques tels que la production, le transport, le stockage ou le recyclage. Les flux financiers ne sont donc pas indépendants. En effet, les flux économiques et financiers sont « toujours la contrepartie de flux de bien ou de services » [Roche, 1990]. Les flux financiers sont bien souvent corrélés aux flux physiques (c'est la réception du bien qui déclenche le paiement) mais peuvent aussi être décorrélés (avec le versement d'un acompte par exemple). Vis-à-vis de la CL, le flux financier est unidirectionnel, descendant du client final vers le fournisseur du rang le plus élevé. Néanmoins, à l'échelle d'une entreprise, le flux est bidirectionnel représentant les recettes «cash-in» et les dépenses «cash-out». Notons qu'il y a différents niveaux de flux en fonction de la temporalité à court terme, le management des flux financiers se focalise sur les opérations de trésorerie tandis qu'à long terme, le lien entre le management des flux financiers et le management des opérations conduit à se focaliser sur l'optimisation du niveau de cash-flow.
- Le troisième flux est le flux informationnel [Berry et al, 2000]. Quel que soit le niveau hiérarchique du système logistique, les flux d'information contiennent les données nécessaires au pilotage et à la gestion de l'ensemble des activités de cette unité. Le flux d'information représente l'ensemble des transferts ou échanges de données entre les différents acteurs de la CL, afin que ces derniers puissent répondre aux besoins exprimés par la commande du client final. Le flux d'information est bidirectionnel et permet de faire le lien entre le flux physique et financier. Il permet de coordonner les flux physiques et financiers entre chaque nœud qui compose le réseau de la SC et permet ainsi une coordination globale [Fawcett et Magnan, 2001]. Les flux d'information doivent être fiables et traçables afin d'assurer l'intelligibilité de leur contenu et éviter toute forme de distorsion. La fiabilité désigne le fait que l'information ne souffre d'aucune défaillance : elle est précise, juste, à jour et contrôlable. Evaluer la fiabilité de

l'information revient ainsi à contrôler tous les processus situés en amont. Ces principes doivent permettre d'éviter toute forme de déformation de la signification de l'information au cours de sa circulation entre les différents participants de la CL [Lesca, 2010].

Comme pour tous les types de chaînes logistiques, une CLH est traversée par trois flux également. Cette CL est constituée d'un ensemble articulé de CLD et CLC organisant les processus de transformation du fournisseur jusqu'au client final. Les chaînes logistiques hybrides combinent des processus discrets et continus ; et quel que soit le type de la CL, le flux financier circule au sens opposé du flux physique. Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons aux flux financiers et aux flux physiques. Dans la figure 12, chaque processus peut être discret ou continu ou hybride.

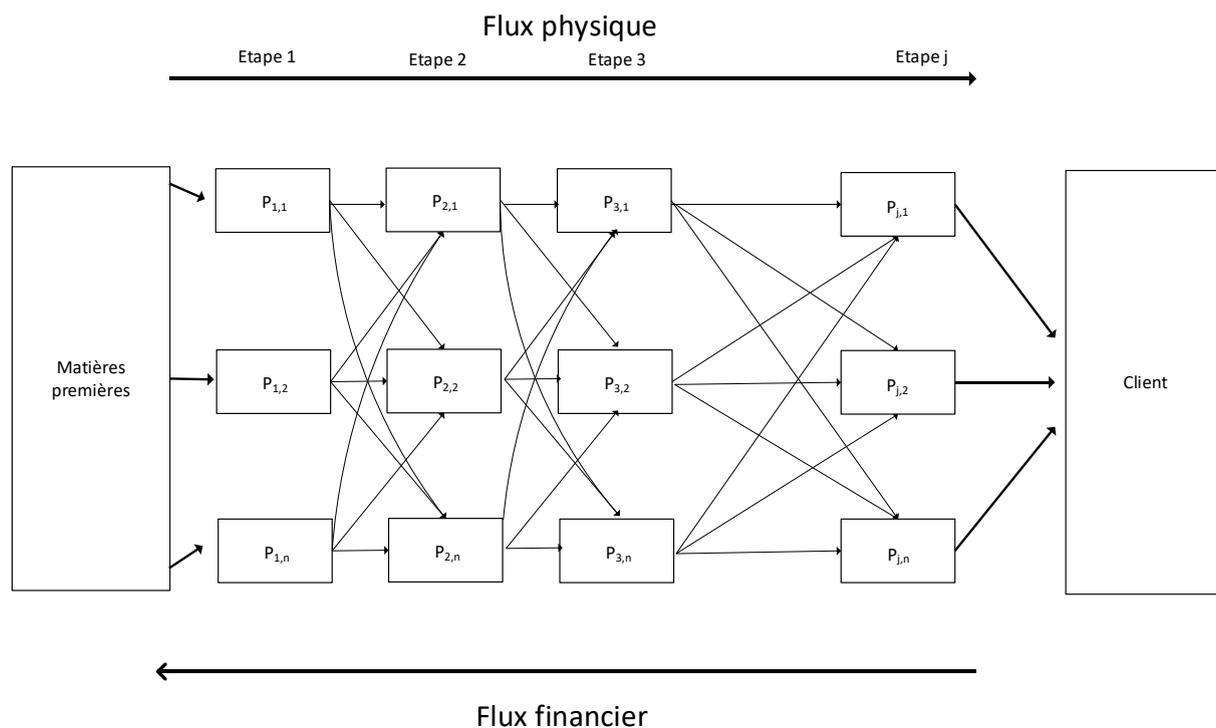


Figure 12: Chaîne logistique hybride

2.2 La gestion des flux dans une CL

Dans ce chapitre, nous allons commencer dans un premier temps par détailler la notion du pilotage des flux. Ensuite, nous allons décrire le concept du SCM.

2.2.1 Le pilotage des flux

Selon [Babai, 2005], la notion de pilotage de flux a connu une évolution très importante à travers le temps. Cette évolution a suivi celle de la notion de CL. Le pilotage de flux se limitait au début, à l'ensemble des règles de gestion des stocks. Par la suite, il a évolué pour intégrer plusieurs caractéristiques des systèmes de production, à savoir: les contraintes de coordination des différents flux au sein des systèmes de production, les contraintes de capacité

dans les systèmes de production, etc... Actuellement, cette notion s'étend de plus en plus pour englober toute la CL depuis l'approvisionnement jusqu'à la distribution. Dès lors, le pilotage de flux consiste aujourd'hui à prendre toutes les décisions visant, à court terme, à coordonner tous les flux, à tous les niveaux de la CL, dans l'objectif de garantir un certain niveau de service vis-à-vis du client tout en minimisant les coûts.

Selon [Giard, 2003], piloter les flux dans la CL consiste à prendre des décisions qui, à chaque étape de la chaîne (depuis les fournisseurs jusqu'au client final) et pour chaque entité (matière première, composant ou produit fini), répondent aux deux questions clés suivantes : quand lancer une activité (activité d'approvisionnement, de fabrication, d'assemblage, de transport ou de déploiement) et en quelle quantité ?

Généralement, ces décisions d'approvisionnement, de fabrication, d'assemblage, de transport et de déploiement sont concrétisées par des ordres d'approvisionnement, de fabrication, d'assemblage, de transport et de déploiement (figure 13).

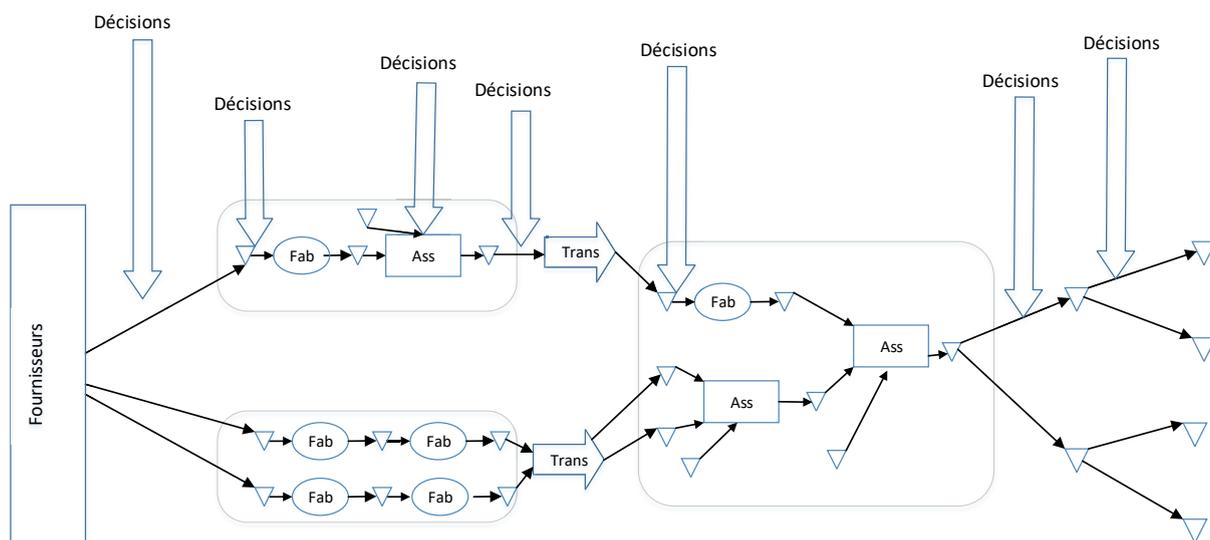


Figure 13: Le pilotage de flux dans la chaîne logistique [Adapté de Babai, 2005]

Les décisions en pilotage de flux tiennent compte de plusieurs informations que nous pouvons classer en trois types :

- Les informations sur l'état du système (telles que les machines en panne, etc.) ;
- Les informations sur les niveaux de stock ;
- Les informations sur la demande.

Selon [Sali, 2012], on distingue généralement deux modes de pilotage en CL qui se différencient par le mode de gouvernance et de coordination de la gestion des flux à un niveau tactique.

Dans un mode de pilotage décentralisé, chaque maillon garde son autonomie quant aux règles de décisions mises en place. L'échange d'informations entre les maillons de la CL est limité généralement aux seules commandes passées par un client à son fournisseur. La décentralisation, rendue parfois nécessaire par des obstacles juridiques, organisationnels ou technologiques, conduit à une logique d'optimisation locale. Le pilotage centralisé consiste à déléguer toute ou partie de l'activité du pilotage des flux à l'une des entités constitutives de la CL ou à un partenaire externe. Ce mode de pilotage offre l'avantage d'une vision globale lors du choix des règles de gestion et permet d'établir une cohérence décisionnelle le long de la

CL. L'une des conditions nécessaires à la réussite d'un pilotage centralisé est la transparence, la pertinence et la cohérence des informations partagées entre les acteurs de la CL.

La mise en œuvre d'un pilotage centralisé se heurte à des contraintes juridiques lorsque les maillons d'une CL appartiennent à des entités différentes voire concurrentes ; un autre obstacle est la présence de maillons appartenant à des CLs différentes. Dans la réalité, le clivage entre pilotage centralisé et pilotage décentralisé n'est pas toujours net. Pour éviter les effets pervers des prises de décisions locales, tout en sauvegardant l'autonomie décisionnelle des acteurs de la CL, le partage d'informations est envisagé comme une alternative aux barrières juridiques. Les informations partagées et leurs modalités de diffusion font l'objet d'accords contractuels entre clients et fournisseurs.

2.2.2 Le Supply Chain Management

L'objectif du SCM est d'améliorer la performance globale du réseau en créant une série de décisions coordonnées, et en imposant un contrôle et une gestion efficace des trois flux qui se déroulent à travers le réseau de la CL.

Selon [Jones et al, 1985], le SCM est une approche intégrative pour s'accorder sur la planification et le contrôle du flux physique depuis les fournisseurs jusqu'à l'utilisateur final. Pour [Thomas et Griffin, 1996], le SCM est la gestion des flux de marchandises et d'informations à la fois et entre les sites tels que les points de vente, les centres de distribution et les usines de production et d'assemblage. Le SCM consiste ainsi à modéliser un ensemble de flux, à les piloter de manière intégrée, et à en améliorer leur coordination et leur compétitivité pour créer de la valeur pour le client final [Christopher, 1997, Cooper et al, 1997]. [Geunes et Chang, 2001] définissent le SCM comme la coordination et l'intégration des activités de la CL avec l'objectif d'atteindre un avantage compétitif viable. Le SCM comprend donc un large panel de problématiques stratégiques, financières et opérationnelles.

Pour [Rota-Franz et al, 2001], faire du « SCM » signifie que l'on cherche à intégrer l'ensemble des moyens internes et externes pour répondre à la demande des clients. L'objectif est d'optimiser de manière simultanée et non plus séquentielle l'ensemble des processus logistiques.

Selon [Mentzer et al, 2001], le SCM peut être défini comme la coordination systémique, stratégique des fonctions opérationnelles classiques et de leurs tactiques, respectives à l'intérieur d'une même entreprise et entre partenaires au sein de la CL, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre et de l'ensemble de la chaîne. [Morana, 2002] définit le SCM comme le management intégré des processus logistiques.

De manière très générale, [Thierry, 2003] définit le SCM comme les décisions qui permettent d'optimiser les performances de la CL. Le SCM est un ensemble d'approches utilisées pour intégrer efficacement les fournisseurs, les producteurs, les distributeurs et les détaillants de façon à garantir la production et la distribution des produits finis au bon moment, au bon endroit, en bonne qualité, en respectant les exigences des clients finaux, et ce au moindre coût [Simchi-levi et al, 1999].

[Genin, 2003] Le SCM est une approche intégrée de gestion qui consiste à piloter dans leur ensemble les flux des matières et d'informations depuis les fournisseurs jusqu'aux utilisateurs finaux. Elle a pour but de diminuer les besoins en fond de roulement de l'entreprise ainsi que de satisfaire les clients par la mise à disposition, au meilleur coût, d'une quantité de produits, à l'endroit et au moment où la demande existe.

[Stadtler, 2005] définit le SCM comme la démarche permettant l'intégration d'unités organisationnelles le long de la CL et la coordination des flux physiques, informationnels, et financiers dans le but de satisfaire le consommateur final et d'améliorer la compétitivité de la chaîne dans son ensemble.

Selon [François, 2007], le SCM est une approche intégrative pour s'accorder sur la planification et le contrôle du flux physique entre tous les intervenants de la CL (fournisseurs, producteurs, distributeurs), depuis la matière première jusqu'au produit fini, de manière à ce que la marchandise soit produite et distribuée en quantité conforme, au bon endroit et au bon moment. Pour [Gautrin, 2015], le SCM est une approche globale, et non pas cloisonnée, de la CL (du fournisseur du fournisseur au client du client) visant l'intégration et l'optimisation globales des flux physiques et d'informations. Elle couvre les fonctions de prévision, de planification et d'exécution depuis l'acquisition des matières premières jusqu'à la distribution des produits finis au client, en passant par la fabrication des produits. Elle sert à maîtriser les coûts logistiques, à améliorer le taux de service et à diminuer les niveaux de stocks. La logistique est un des éléments majeurs de la CL, celle-ci comprend toutes les fonctions engagées dans la satisfaction d'une demande du consommateur. A partir de cet objectif, le SCM met en œuvre des outils et des méthodes permettant d'automatiser et d'améliorer les approvisionnements, en réduisant les stocks et les délais de livraison.

Selon [Durant et al, 2015], de nombreux outils et logiciels ont vu le jour afin de faciliter la maîtrise des flux. Parmi ces outils, nous pouvons citer les Entreprise Ressource Planning (ERP), les Advanced Planning System (APS), les Warehouse Management System (WMS), les Transport Management System (TMS), les Customer Relationship Management (CRM). La plupart de ces outils peinent à s'adapter aux nouveaux défis de la CL actuelle, à savoir l'incertitude de la demande, la coordination et la gouvernance globale de la CL, la collaboration des acteurs de la chaîne pour un contrôle intelligent et dynamique, la flexibilité de la chaîne afin de mieux répondre aux exigences de la demande du client. De même, ces outils doivent faire face à la gestion du risque, à la prise de décision au niveau local et global pour une CL décentralisée et à l'interopérabilité des réseaux logistiques avec les contraintes d'hétérogénéité des normes et des standards.

Quel que soit le secteur ou le contexte, le SCM comprend trois types d'opérations :

- Opérations de planification : prévision des commandes, programmation des approvisionnements, ordonnancement des transports de livraison, gestion des flux ...
- Opérations administratives : traitement et suivi des commandes, tenues des stocks ...
- Opérations physiques : préparation des commandes, manutention, transport ...

Il a pour but de permettre :

- La gestion économique de la production, en supprimant les ruptures de stocks coûteuses, grâce à une information constante sur l'état du marché ;
- La réduction des stocks grâce à une rotation accélérée des marchandises entreposées
- La réponse adaptée à une demande très volatile ;
- La mise à disposition du produit chez le client final dans les délais les plus courts et au meilleur coût de distribution possible ;
- La surveillance et l'amélioration de la qualité de la chaîne qui relie le producteur au consommateur pour parvenir au « zéro défaut » du produit servi et du service rendu.

Dans le cadre de notre recherche, le pilotage de flux intègre plusieurs critères qui consistent à prendre des décisions permettant de coordonner tous les flux dans les points de passage entre

deux processus hybrides et à tous les niveaux de la CL afin de minimiser les coûts et maximiser la marge ; et le tout en respectant la pertinence et la cohérence des informations diffusées tout au long de la CLH. Donc, le SCM dans le cas d'une CLH consiste à améliorer la performance en définissant un ensemble de décisions avec un meilleur contrôle de gestion industriel afin de maîtriser les coûts logistiques et maximiser la marge. Le SCM pour la CLH permet également la programmation des commandes, ordonnancement des transports afin d'éviter les coûts de pénalité, respecter les échanges avec l'extérieur, la gestion des maintenances et les disponibilités des lignes ainsi que l'adaptation du régime de marche.

3 MODELISATION POUR L'AIDE A LA DECISION DANS LES CLH

Dans un premier temps, nous allons analyser les différents types de décisions avant de caractériser les méthodes de recueil de données dans les systèmes industriels. En effet, la modélisation nécessite, lorsque nous sommes face à un système industriel réel d'être capable de recueillir les données et de les transformer en information, en accord avec les acteurs du système modélisé. Les dernières sections présentent une description des notions de modélisation dans un contexte industriel tout en détaillant des approches qui auraient pu être mobilisés dans cette thèse mais qui ont été finalement abandonnées car peu compatible avec la dimension économique.

3.1 Les différents types de décisions

Dans ce paragraphe, nous allons commencer dans un premier temps par la définition des différents types de décisions. Ensuite, nous allons traiter la particularité pour la CLH tout en caractérisant les notions de décisions programmées et non programmées.

3.1.1 Typologie d'Anthony (1965)

Une décision est définie comme l'enchaînement de 4 phases principales :

- Phase de formalisation du désir ou encore d'alerte : cette phase correspond à la prise de conscience de la situation ;
- Phase d'instruction : recherche d'informations, étude de situations antérieures, analyse de solutions éprouvées ou conception d'une nouvelle solution ;
- Phase de choix : la décision est prise, la solution est choisie et le décideur est en mesure de l'appliquer en pleine connaissances des contraintes et des moyens pouvant exister ;
- Phase d'exécution : le passage à l'action.

En parallèle des différents flux de la CL et les outils de gestion des flux, nous mettons en évidence les différents niveaux de périmètres décisionnels existants pour tout type de CL. [Anthony, 1965] définit trois niveaux de décisions selon leur horizon temporel :

- **Les décisions opérationnelles** sont des décisions de court terme concernant les opérations courantes de l'entreprise. Elles sont prises par les agents d'exécution ou les agents de maîtrise et correspondent aux décisions courantes de conduite du système productif (production, maintenance, approvisionnement...). Ce type de décisions, selon [Giard, 2003], ils assurent la flexibilité quotidienne nécessaire pour faire face aux fluctuations prévues de la demande et des disponibilités de ressources

et permet de réagir aux aléas, dans le respect des décisions tactiques. Parmi les décisions opérationnelles concernant la gestion de production, on trouve : la gestion des stocks, qui assure la mise à disposition des matières premières et des composants ; l'ordonnancement, qui consiste en une programmation prévisionnelle détaillée des ressources mobilisées dans l'exécution des opérations nécessaires à la production élémentaire de biens de prestations de service, sur un horizon ne dépassant pas quelques dizaines d'heures.

- **Les décisions tactiques** sont des décisions de moyen terme concernant l'organisation de la gestion quotidienne de l'entreprise. Elles traitent la planification de la production, la coordination de la CL, des politiques de réapprovisionnements. Pour [Giard, 2003], les décisions tactiques correspondent à un ensemble de décisions à moyen terme. Parmi les décisions tactiques concernant la gestion de la production, on trouve par exemple la planification de la production, agrégée par famille de produits, pour un ensemble de périodes dont l'amplitude varie entre la semaine et le mois.
- **Les décisions stratégiques** concernent les orientations générales de la firme et elles ont une implication sur le long terme. Selon [Giard, 2003], les décisions stratégiques se traduisent par la formulation de la politique à long terme de l'entreprise, ce qui implique une définition volontariste et cohérente du portefeuille d'activités qu'elle entend avoir à terme et des ressources stables qu'elle entend mettre en œuvre pour parvenir à ses fins.

Par ailleurs, [Dallery, 2000] propose une classification plus fine en quatre niveaux que nous reprenons. Nous présentons dans la figure 14 les quatre niveaux de décision dans la CL ainsi que des exemples de décisions. Notons que les décisions prises dans un niveau inférieur doivent nécessairement intégrer les contraintes résultantes des décisions prises au niveau supérieur.

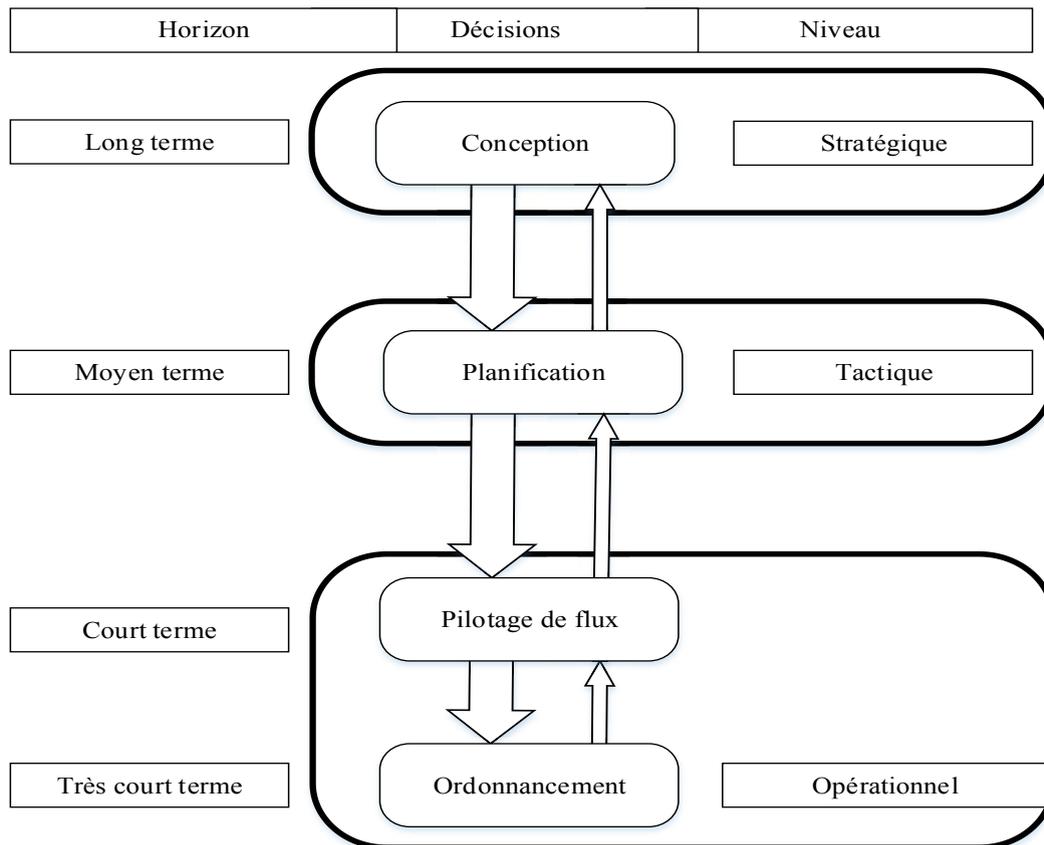


Figure 14: Différents niveaux de décisions dans la chaîne logistique

Le niveau stratégique englobe toutes les décisions de conception dans la CL telles que la conception des lignes de production et la conception des réseaux de transport. Le niveau tactique regroupe toutes les décisions de planification qui ont pour but d'aboutir à un équilibre entre la charge et la capacité en utilisant la sous-traitance ou en planifiant les équipes en trois postes par exemple. Le niveau opérationnel peut être divisé en deux sous-niveaux. Le premier sous-niveau regroupe l'ensemble des décisions de court terme que nous appelons pilotage de flux et qui correspond aux décisions de lancement des ordres de réapprovisionnement, de production et de transport. Le deuxième sous-niveau représente les décisions de très court terme que nous appelons ordonnancement des tâches et qui consiste à organiser la production au sein des ateliers et à gérer l'affectation des tâches sur les machines ou dans les lignes d'engrais chez Maroc Phosphore.

Selon [Simon.H.A, 1980], le processus de décision comporte quatre phases : analyse, modélisation, choix et mise en œuvre (figure 15)

- **L'analyse** : le décideur identifie les situations pour lesquelles il va devoir prendre des décisions.
- **La modélisation** : le décideur recense les informations, les structures afin de disposer de solutions envisageables.
- **Le choix des méthodes** : à partir de l'évaluation de chaque solution, le décideur choisit la meilleure d'entre elles.
- **La mise en œuvre** des décisions choisies

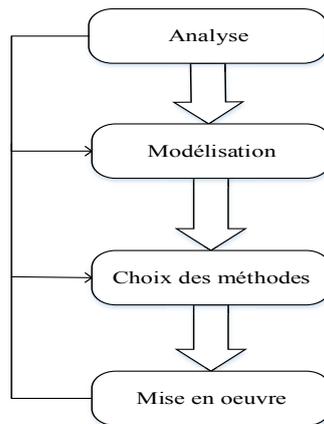


Figure 15: Modèle d'un processus de décision

3.1.2 Décisions programmables / non programmables dans le contexte de Maroc Phosphore

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons à la planification opérationnelle et tactique de la CLH dans le contexte de Maroc Phosphore.

Il est habituel de classer et hiérarchiser les décisions en fonction de leurs niveaux (stratégique, tactique, opérationnel) ce qui correspond à des périmètres spatio-temporels de plus en plus fins et à des niveaux de responsabilité de plus en plus restreints. Les décisions prises à un certain niveau sont des contraintes à respecter dans la prise de décisions de niveau inférieur. Les Modélisations / simulation (M/S) sous-jacentes dans les SIAD à construire étant destinées à améliorer la prise de décisions des responsables du pilotage opérationnel ou tactique, la granularité de la modélisation du SIAD opérationnel doit permettre de prendre en compte les décisions que les décideurs peuvent prendre et d'en simuler les conséquences dans la CL. Les décisions opérationnelles envisagées dans ce contexte correspondent principalement à des modifications de planning de production et d'utilisation de ressources pour faire face à des incidents remettant en cause la cohérence des décisions antérieurement prises. Les décisions d'ajustement en temps réel (ouverture d'une vanne...) sont prises par d'autres acteurs (opérateurs...) et nécessitent une description plus fine du système productif.

L'analyse des conséquences des décisions opérationnelles peut donc reposer sur une représentation relativement agrégée du système productif, s'appuyant sur des performances moyennes des entités retenues (liées à l'utilisation de routines utilisées dans la prise de décisions en temps réel). Par exemple, il est inutile de descendre au niveau des « constituants » d'une ligne de production d'acide sulfurique de la CL de OCP SA pour étudier les décisions opérationnelles. La définition de ces entités doit cependant permettre l'identification des modifications de débits liées à des pannes ou à des opérations de maintenance. Ainsi, ce principe conduit à privilégier la description d'un atelier d'acide sulfurique comme étant constitué de 6 lignes identiques indépendantes plutôt que comme un sous-système productif agrégé unique. Les informations techniques nécessaires n'existent pas et doivent être produites à partir des informations techniques détaillées.

Le SIAD orienté vers la prise de décisions tactiques s'appuiera sur la même M/S que celle retenue pour éclairer la prise de décision opérationnelle. À ce niveau, il s'agit de définir une programmation prévisionnelle cohérente, sur un horizon de quelques semaines, des commandes en cours et de nouvelles commandes à sélectionner dans un ensemble de

commandes possibles ; ces décisions pouvant se doubler de décisions de mobilisation de ressources additionnelles. Dans ce contexte, on peut imaginer, dans un premier temps, d'utiliser des routines décisionnelles pour prendre des décisions considérées comme relevant du niveau opérationnel dans le SIAD orienté vers la prise de décisions opérationnelles.

On peut catégoriser la décision selon différents critères, niveaux, nature, ... Comme détaillée ci-dessus, La classification faite selon Anthony est la plus célèbre et qui nous est plus pertinente car elle définit trois niveaux de décisions.

[Simon.H.A, 1980] définit les décisions programmées comme étant celles qu'on rencontre à tous les niveaux de l'organisation. Elles consistent à mettre en application les procédures connues répétitives et routinières : par exemple, la mise en marche quotidienne de la production nécessite la prise chaque matin d'un certain nombre de décisions, pour la satisfaction de la demande d'un client. Ce genre de décisions comporte des éléments et des étapes définis et connus à l'avance. Généralement, ces décisions ne subissent pas des changements significatifs. Ce genre de décision se caractérisant par des situations prévues et prévisibles et des réponses prévues pourraient être facilement effectuées par un ordinateur.

Donc, pour [Simon.H.A, 1980], les décisions programmées sont les décisions routinières, répétitives et qui font référence aux procédures standardisées que l'on retrouve dans l'administration publique.

Pour [Monereau, 2007], ce genre de décisions est décomposable en une série de choix routiniers selon un processus algorithmique. Les décisions sont programmées dans la mesure où elles sont répétitives et routinières, et où l'on a établi une procédure déterminée pour les effectuer, de façon à ne pas avoir à les reconsidérer chaque fois qu'elles se présentent.

Selon [Morin, 2013], les décisions programmées apportent une solution à des problèmes simples et répétitifs qui surviennent fréquemment comme le choix d'un mets pour le dîner ou des vêtements à porter selon la circonstance.

Nous pouvons ajouter comme exemple de décisions programmées dans le contexte de Maroc Phosphore : les maintenances préventives, les arrêts de lignes de production programmés, l'augmentation ou la diminution du régime de marche... (cf chapitre 4).

[Monereau, 2007] définit les décisions non programmées comme des décisions qui dépendent des circonstances pour lesquelles on ne dispose pas de décisions programmées.

Pour [Mercier, 2002], on peut parler de décisions non programmées dans la mesure où elles sont nouvelles, non structurées et se présentent de façon inhabituelle. Il n'existe pas de méthode toute faite pour régler le problème, car il se pose pour la première fois, ou parce que sa nature et sa structure sont mal définies ou complexes, ou bien encore parce que vu son importance, il mérite une solution sur mesure.

Pour [Morin, 2013], les décisions non programmées sont des décisions uniques, exceptionnelles et non structurées, ces décisions se prennent rarement.

Ces décisions comportent une bonne part d'incertitude et ne résultent pas de l'application de règles déterminées. On peut y inclure, entre autres, la décision de lancer une nouvelle gamme de produits, de changer de réseau de distribution. Pour prendre de bonnes décisions non programmées, il faut avoir un jugement sûr, une imagination créative et un esprit d'analyse, et recourir à des méthodes quantitatives afin d'arriver à un meilleur choix. Les décisions non programmées sont des décisions non structurées et toujours nouvelles, et qui sont les plus importantes.

Selon [Ben Tahar, 2013], les décisions non programmées se différencient des décisions programmées par leur caractère imprévu, inattendu. Les décisions non programmées sont provoquées par l'émergence des situations nouvelles.

Selon [Simon H.A, 1980], les décisions non programmées sont, quant à elle, des décisions moins bien structurées, prises sur la base du jugement et de l'intuition des décideurs. Dans le cas de Maroc Phosphore, au niveau opérationnel nous pouvons citer l'exemple des maintenances curatives qui entraînent les arrêts de lignes de production non programmés.

3.2 La méthode de recueil des connaissances pour les processus logistiques : le Business Process Management (BPM)

Selon [Fenies, 2006], un ensemble d'outils et de méthodes permettent de recueillir, formaliser, spécifier l'ensemble des flux et des processus de la SC dans un modèle processuel unique : cette analyse de l'organisation SC s'apparente à une modélisation des processus de type BPM. Le BPM est un mouvement de recherche dont l'objectif est de permettre la spécification des processus organisationnels en vue de permettre une informatisation soit dans le cadre de l'aide à la décision, soit dans le cadre de la constitution du système informatique (logiciel et matériel). Comme nous travaillons sur la CLH, et que nous analysons cette dernière à partir d'une approche par les processus, se référer aux apports du BPM nous paraît naturel. La spécification des processus en contexte intra-organisationnel comme inter-organisationnel issue d'une approche de type BPM doit être utilisable par les méthodes de valorisation (modèles de coûts) issues du contrôle de gestion, par les modèles informatiques issus de la recherche opérationnelle, par les applications informatiques de pilotage des entreprises. L'objectif principal de BPM est de fournir une notation qui est facilement compréhensible par tous les utilisateurs qui créent les premières ébauches du processus, les développeurs techniques chargés de la mise en œuvre de la technologie qui va effectuer ces processus, et enfin, aux gens d'affaires qui permettront de gérer et de contrôler ces processus. Ainsi, BPM crée un pont normalisé pour l'écart entre la conception de processus et la mise en œuvre de processus.

Un certain nombre d'auteurs et de praticiens ont défini le BPM comme le processus d'entreprise utilisant des méthodes, des outils, des concepts et des logiciels pour concevoir, formaliser, contrôler et analyser les processus de l'entreprise. Le BPM est le processus qui permet de modéliser les processus d'entreprise [Weske et al, 2004].

Selon [Gupta, 2001], la démarche de BPM s'insère dans l'approche de gestion des connaissances de l'entreprise et doit permettre de mettre à disposition du management de l'entreprise un modèle de connaissance des processus organisationnels. Ce processus de gestion de la connaissance est repris en contexte BPM par [Gupta, 2001 ; Wang et Wang, 2006] et il est constitué de 4 étapes :

1. La phase d'acquisition de la connaissance ;
2. La phase de validation de la connaissance acquise ;
3. La phase de découverte de la connaissance ;
4. La phase de partage de la connaissance dans l'organisation.

Selon [Weske, 2012], le BPM est basé sur la manière d'obtention du résultat d'un certain nombre d'activités réalisées. Les processus sont l'instrument clé pour l'organisation de ces activités et pour l'amélioration de la compréhension de leurs interrelations. Les technologies

de l'information en général et les systèmes d'information en particulier, méritent un rôle important dans le BPM, car la plupart des activités peuvent être effectuées par les employés de l'entreprise manuellement ou à l'aide des systèmes d'information.

Pour [Aalst et al, 2003], le BPM comprend des méthodes, des techniques et des outils pour améliorer la conception, la gestion et l'analyse des processus opérationnels. Il peut être considéré comme une extension des systèmes classiques Workflow Management (WFM). BPM peut être également défini comme un soutien des processus en utilisant des méthodes, des techniques et des logiciels pour concevoir, adopter, contrôler, et analyser les processus opérationnels des êtres humains, des organisations, des applications, des documents et autres sources d'information. Cette définition limite l'utilisation BPM seulement aux processus opérationnels.

BPM est la discipline qui fait maintenant face à la tâche difficile. Tout d'abord, le BPM est un carrefour de multiples points de vue, tout à fait différents. Les chefs d'entreprise sont attirés par l'utilisation du BPM en raison de sa capacité démontrée à apporter des améliorations dans la performance organisationnelle, la conformité réglementaire et la qualité de service. Les ingénieurs industriels voient BPM comme une opportunité d'appliquer des techniques d'optimisation de fabrication bien battus dans le contexte des organisations qui offrent des services plutôt que des produits physiques. Enfin, la technologie de l'information apprécie le fait que le BPM leur fournit un langage commun pour communiquer avec les parties prenantes de l'entreprise [Dumas et al, 2013].

Selon [Zahiri, 1997], BPM est une approche structurée pour analyser et améliorer continuellement les activités fondamentales telles que la fabrication, le marketing, les communications et d'autres éléments majeurs de l'exploitation d'une entreprise.

Essentiellement, le BPM est préoccupé par les principaux aspects des activités des entreprises où il y a une grande proportion de la valeur ajoutée. BPM doit être gouverné par les règles suivantes :

- Les principales activités doivent être correctement cartographiées et documentées ;
- BPM crée un accent sur les clients par le biais des liens horizontaux entre les activités clés ;
- BPM repose sur des systèmes et des procédures documentées pour assurer la discipline et la cohérence ;
- BPM repose sur l'activité de mesure pour évaluer la performance de chaque processus individuel, fixer les objectifs ainsi que les différents points pour les atteindre ;
- BPM doit être fondé sur une approche d'optimisation continue à travers la résolution de problèmes ;
- BPM doit être inspiré par les meilleures pratiques pour assurer que la compétitivité supérieure est obtenue ;
- BPM est une approche pour un changement de culture et ne se traduit pas simplement par le fait d'avoir de bons systèmes et une bonne structure en place.

Selon [Raghu et Vinze, 2005], Le recueil de la connaissance sur les processus organisationnels qui s'inscrit dans la démarche de management de la connaissance, doit également permettre aux membres de l'organisation de partager l'information dans l'entreprise sur des processus qui n'étaient pas forcément formalisés auparavant.

Selon [Hult et al, 2004], à partir du recueil de la connaissance sur un système complexe de type SC, une représentation des processus organisationnels est réalisée sous la forme d'un modèle de connaissance de ce système. Ce modèle de connaissance est défini comme une

formalisation dans un langage naturel ou graphique de la structure du fonctionnement de ce système [Gourgand et Kellert, 1991]. [Raghu et Vinze, 2005] proposent de définir le modèle de connaissance des processus d'un système comme l'agrégation d'informations et de données permettant de représenter les interactions, les collaborations et les associations entre les entités du système sous forme de workflow. Concrètement, le BPM est constitué de trois phases [Weske et al, 2004 ; Aalst et al, 2003, Gupta, 2001] :

- la première phase est la phase d'acquisition et de validation de la connaissance sur les processus organisationnels (cette phase est commune au management de la connaissance) ;
- la deuxième phase est la phase de formalisation de la connaissance (à l'aide de concepts, d'outils et de méthodes) qui est souvent présentée sous le terme anglosaxon de Business Process Modelling [Holland et al, 2005] ;
- la troisième phase est la phase d'analyse et d'utilisation des modèles formalisés lors de l'étape précédente (Business Process Analysis) [Gartner, 2002]. Lors de cette phase d'analyse, les acteurs de l'entreprise analysent, utilisent et enrichissent le modèle de connaissance.

Selon [Seshasai et al, 2005], la démarche de BPM doit conduire à acquérir la connaissance sur les processus d'un système complexe en capturant de l'information suivant différentes modalités, en incluant l'avis des acteurs, sous forme de documents consultables en permanence par les acteurs du système modélisé.

Le BPM offre aux organisations la liberté de changer très rapidement leurs systèmes et leurs processus, sans avoir besoin de redévelopper complètement leurs applications [Ulmer, 2011]. L'objectif du BPM est de garantir à une entreprise que ses processus métier sont adaptés de manière continue à un environnement en constante évolution [Fingar et Bellini 2004]. Le BPM permet aux entreprises de gérer les processus métier depuis un niveau stratégique jusqu'à un niveau opérationnel.

3.3 Choix d'une méthode de modélisation

Selon [Haggett, 1967], la modélisation est une représentation idéalisée de la réalité afin de faire apparaître certaines de ses propriétés. [Galland, 2001] a fait une distinction entre les différentes propriétés aboutissant ainsi à des modèles physiques symboliques, des modèles déterministes et stochastiques et des modèles statiques et dynamiques. Pour définir les modèles, l'auteur s'est basé sur la méthode physique permettant de représenter le système réel comme par exemple une réplique ou maquette, à une échelle différente. Les modèles symboliques sont selon l'auteur une abstraction mathématisée de la réalité. Quand ils sont qualifiés de déterministes, leur influence est considérée comme négligeable. Les modèles dynamiques se distinguent des modèles discrets, dans lesquels l'état du système ne change qu'à certaines dates (exemple d'une file d'attente devant une machine), et des modèles continus où ce changement est permanent. Un modèle contenant à la fois des composantes discrètes et continues est dit mixte/hybride.

Une autre définition est celle issue de la théorie du système général proposée par [Le Moigne, 1977]. Selon l'auteur, la modélisation peut être considérée comme une approche aboutissant à la simplification d'un système complexe.

Nous concluons que la modélisation consiste à représenter de manière simplifiée le problème initial en ne prenant que les éléments pertinents par rapport aux objectifs de l'étude. Un modèle

peut être considéré comme une représentation et donc une interprétation explicite de la compréhension d'une situation faite par son utilisateur ou plus simplement de l'idée qu'il se fait sur une situation, selon les objectifs à atteindre et les hypothèses qu'il est possible de faire dans l'étude du système.

Une méthode de modélisation explique comment concevoir et structurer un modèle de connaissance d'un système (une cartographie des processus ...) à partir d'un formalisme donné et d'une ou plusieurs approches. Une méthode de modélisation définit une démarche reproductible pour obtenir un résultat fiable [Chabrol, 1986]. Un formalisme (formalisme mathématique, graphique, textuel...) n'a de signification qu'employé avec une méthode. Par analogie avec le domaine linguistique, si on considère que le formalisme est un alphabet, la méthode explique comment utiliser et assembler l'alphabet pour produire une représentation visuelle d'une langue donnée sous la forme d'une écriture. La plupart des méthodes de modélisation sont associées avec un outil logiciel qui permet de constituer une base formalisée des processus. [Fenies, 2006] présente brièvement quatre méthodes de modélisation qui sont pertinentes et indique que dans une logique orientée métier et processus, ARIS est la méthode la plus facile à mettre en œuvre pour recueillir et formaliser les processus d'entreprise. La méthode ARIS (ARchitecture of Integrated System) repose sur un concept d'intégration dicté par une vision globale des processus de l'entreprise [Scheer, 1998]. Le logiciel ARIS (version 7) est une solution de BPM [IDS-Scheer, 2006] et propose une vue ABC. La conception de l'architecture proposée dans ARIS se base tout d'abord sur un modèle développé pour les processus d'entreprise et contenant toutes les caractéristiques principales nécessaires à la description de processus d'entreprise. ARIS utilise un formalisme spécifique ainsi qu'une vingtaine de diagrammes spécifiques. Le concept ARIS fournit un cadre dans lequel des systèmes d'information intégrés peuvent être développés et optimisés [IDS-Scheer, 2006]. Aussi, pour recueillir et formaliser les processus dans le contexte de notre recherche, nous utiliserons principalement le formalisme ARIS dont les spécifications sont données en annexe 26).

Les deux sous sections suivantes présentent deux approches de modélisation souvent utilisées en logistique pour comprendre les phénomènes décisionnels et qui sont l'approche multi-agent et l'approche par les réseaux de Pétri.

3.4 Modélisation de la CL par une approche multi-agent

Selon [Labarthe et al, 2007], l'approche de modélisation multi-agents encapsule dans les individus, appelés agent, le comportement de chaque acteur de la CL. L'exécution du modèle est une simulation comportementale, laissant les agents interagissent les uns avec les autres, et permet le suivi de leur comportement et tout ce qui est en relation avec les actions de l'agent. L'approche de simulation multi-agents est la seule permettant une observation du comportement de chaque acteur de la CL dans le temps et de la dynamique de la chaîne résultant de leurs interactions.

Un agent peut être défini comme une entité, soit théorique, physique ou virtuelle, capable d'agir sur elle-même et sur l'environnement dans lequel elle évolue et de communiquer avec d'autres agents. Un agent peut être caractérisé par son rôle, ses objectifs, ses fonctionnalités, ses croyances, ses capacités décisionnelles, ses capacités communicationnelles et ses capacités d'apprentissage.

Un agent est défini par [Jennings et al, 1998] comme un système informatique, situé dans un certain environnement qui est capable d'agir d'une façon autonome flexible afin d'atteindre ses objectifs de conception.

Les propriétés d'un agent sont définies par [Wooldridge et Jennings, 1995] de la manière suivante :

- Autonomie : un agent fonctionne sans être humain ou autre intervention directe. Les actions qu'il réalise ainsi que son état interne ne sont soumis à aucun contrôle.
- Réactivité : un agent perçoit son environnement et réagit de façon appropriée aux changements de l'environnement.
- Pro-activité : un agent doit être capable de montrer des comportements dirigés par des objectifs internes, de prendre des initiatives.
- Sociabilité : Les agents interagissent les uns avec les autres en utilisant des langages de communication et les règles de sociabilité communes

Une simulation multi-agent est en même temps un produit logiciel, un logiciel basé sur un agent et un outil de simulation. Comme tout logiciel, ce type de simulation nécessite la mise en œuvre d'approches de génie logiciel classiques qui guident le processus de développement et assurer sa qualité, sa robustesse, sa durabilité et sa capacité d'adaptation.

3.5 Modélisation de la CL par les réseaux de pétri

Pour [David et Alla, 1994], les réseaux de Petri permettent une simulation à événements discret de tous types de CL. Ils présentent deux caractéristiques intéressantes : Ils permettent de modéliser et de visualiser les comportements comprenant la concurrence, la synchronisation et le partage des ressources. Ce sont des modèles rigoureux, qui ont donné lieu à de nombreux résultats théoriques. Un réseau de Petri comprend deux types de nœuds : les places et les transitions.

Selon [Gu et Bahri, 2002], avec les réseaux de Petri, le comportement des activités à événements discrets dans des processus discontinus peut être formulé formellement et graphiquement. Dans la modélisation des réseaux de Petri, les places peuvent être utilisées pour représenter l'état d'une ressource (sa disponibilité), une opération de l'usine de traitement et une condition (la satisfaction). Les transitions sont utilisées pour modéliser les événements (début et de fin de l'opération). La présence d'un jeton dans une place indique si une ressource est disponible, une opération de l'usine de traitement est en cours, ou une condition est vraie. Les jetons multiples impliquent souvent la disponibilité des ressources multiples.

[Andreu et al, 1996] traitent l'interaction et la coordination entre un modèle de réseau de Petri de la partie discrète d'un système et un modèle continu constitué d'un ensemble d'équations algébro-différentielles. Ce modèle est structuré selon trois vues : une vue discrète traduisant la stratégie de commande, une vue discrète correspondant à une représentation qualitative de l'état du procédé (ses configurations) et une vue continue associée à chaque configuration. L'évolution cohérente de cette structure, basée sur les événements, est garantie par une coopération des modèles dont les interactions sont clairement définies.

Selon [Mokhtari, 2007], il est apparu nécessaire, dans certains cas, de représenter sur un même modèle des phénomènes à la fois continus (comme le traitement d'un flux de matière continu) et discrets (comme l'occupation d'une ressource). Ni le formalisme réseau de Petri discret, ni le formalisme réseau de Petri continu ne permettait de représenter de tels systèmes. Cela a ainsi conduit à la définition d'une nouvelle extension : les réseaux de Petri hybrides

dans lesquels coexistent des places et des transitions continues et discrètes [Le Bail et al, 1991].

Pour représenter des processus en temps continu, encadrés par des décisions, un modèle unifié, nommé un réseau de Petri différentiel a été défini [Demongodin et Koussoulas 1998]. Ce nouveau modèle nous permet d'analyser le système hybride, généralement représentée comme un système d'équations différentielles mélangé avec un système à événements discrets, grâce à des règles d'évolution qui permettent de rendre la simulation précise. Donc, un réseau de Petri différentiel est un modèle «naturel» pour les systèmes de contrôle et de surveillance où la logique discrète et les systèmes continus se mélangent.

[Saadi, 1994] propose un nouvel outil de modélisation appelé : Réseau dynamique hybride qui est une extension des réseaux de Petri hybrides autorisant des marquages négatifs. Une représentation de chaque composant physique par un réseau élémentaire permet une modélisation fine et une exploitation plus aisée en simulation. Le modèle obtenu est appelé : Réseaux dynamiques hybrides à composant RDHC [Saadi, 1997] avec l'outil de simulation RDHC [Chami et al, 2002].

4 SIMULATION ET CHAINE LOGISTIQUE

Comme l'objet de notre travail est de construire un système d'évaluation économique des processus logistiques dans une logique de simulation des activités logistiques et industrielles de processus hybrides, nous discutons maintenant des logiques de simulation.

Selon [Shanon, 1975], la simulation permet d'évaluer un système et de voir son comportement en suivant l'évolution des états de ce système dans le temps. Elle peut être utilisée pour évaluer les performances d'un système existant ou pour concevoir un nouveau système à partir des spécifications précises.

Dans le domaine de la gestion logistique, la simulation est aujourd'hui reconnue comme un outil puissant d'aide à la décision dans la mesure où elle permet aux entreprises d'effectuer des analyses conduisant à une meilleure planification des décisions et une connaissance des différentes contraintes opérationnelles. Une démarche de simulation permet de dimensionner un réseau logistique, d'implémenter différentes stratégies de pilotage des flux et de mettre en place des mécanismes de collaboration [Essaid, 2013].

[Ingalls, 1998], souligne que beaucoup de problèmes logistiques sont complexes et soumis à des variations importantes des variables de décisions. Par conséquent, seule une démarche de simulation permet d'analyser et de trouver des solutions robustes.

[Chu, 2003] répartit les études de simulation de CL selon les points suivants : les méthodes de simulation employées, les secteurs d'industrie concernés, les études sur l'amplification de la demande, les études de coordination et de partage d'information et enfin les études visant la mise en œuvre de stratégies logistiques.

[Terzi et Cavalieri, 2004] et [Wyland et al, 2000] se sont intéressés aux apports de la simulation comme outil d'étude des chaînes logistiques dans l'évaluation des variations du système et de l'interdépendance de ses composants. Cela permet à un décideur d'évaluer les changements dans une partie de la CL et de visualiser l'impact de ces changements sur les autres parties du système, et par conséquent avoir une idée précise sur la performance de l'ensemble de la chaîne.

[Ridalls et al, 2002] estiment que le comportement global d'une CL ne peut être évalué qu'en utilisant la simulation.

Trois grandes familles de techniques de M / S sont mobilisables dans le cadre de la modélisation de la CL : la SED, la M/S se basant sur les Systèmes Dynamiques (SD) ou Simulation Continue, et la Simulation Hybride (SH).

Selon [Tako et Robinsson, 2012], la SED modélise le système comme un réseau de files d'attente et d'activités dans lesquels les changements d'état se produisent suite à des événements discrets. Alors que [Ramadge et Wonham, 1989] définissent un SED comme un système dynamique qui évolue en fonction de l'apparition brutale, à intervalles irréguliers éventuellement inconnus, des événements physiques.

Pour [Kumar et Nigmatullin, 2011], l'approche SD a été utilisée pour étudier le comportement et les relations au sein d'une CL pour un produit non périssable, et pour déterminer l'impact de la variabilité de la demande et les délais sur la performance de cette chaîne. Le modèle proposé par cette approche facilite l'identification et l'étude des composantes essentielles de la CL globale, permettant la création d'un réseau de chaîne d'approvisionnement efficace et durable. Alors que selon [Jaime, 2014], les modèles SD représentent un système comme un ensemble de stocks et des flux où les changements d'état se produisent continuellement au fil du temps.

Selon [Özbayrak et al, 2007], afin de comprendre le comportement dynamique d'une CL dans son ensemble, il faut élaborer un modèle qui permet l'analyse des interactions entre les différents composants du système intégré. Pour ce faire, l'approche SD reste une méthode idéale pour construire le modèle d'une structure complexe et mesurer leurs performances dans différentes conditions opérationnelles. Donc, les systèmes dynamiques visent à fournir une vue d'ensemble du système et de déterminer comment ces interrelations affectent ce système. Une modélisation efficace est vitale, car une compréhension approfondie de la dynamique et le comportement du système est l'étape clé vers l'optimisation de sa performance.

[Betts, 2014] définissent le troisième modèle de simulation « hybride » comme un modèle conçu pour déterminer le niveau cible minimisant les coûts. Le modèle est basé sur une seule simulation à événements discrets du système de production non contraint, à partir de laquelle une approximation analytique du déficit de l'inventaire est dérivée. En utilisant cette expression analytique, il est alors possible d'évaluer la performance des stocks et des coûts associés, à tous les niveaux.

Pour conclure, d'une part, dans la partie SED, les entités (objets, personnes) sont représentées individuellement et les attributs spécifiques sont affectés à chaque entité, qui détermine ce qui leur arrive tout au long de la simulation. D'autre part, dans SD, les entités individuelles ne sont pas spécifiquement modélisées, mais au contraire, elles sont représentées comme une quantité continue dans un stock. Alors qu'un modèle de SH se base sur la combinaison des deux approches SED et SD, et peut être appliqué à des situations où la distribution de la demande n'a pas une forme analytique identifiable.

Pour choisir la technique utilisée pour modéliser une CLH, nous avons étudié des articles traitant des cas concrets relatifs à des classes de décisions opérationnelles et/ou tactiques, en faisant abstraction de ceux s'intéressant à un horizon stratégique ou de type « temps réel » dans leur résolution de problème. Le but de cette analyse est d'explorer l'utilisation des différentes techniques de simulation SED, SD, SH, en traitant spécifiquement la nature des chaînes logistiques modélisées et le niveau d'utilisation de ces techniques de simulation.

Pour atteindre cet objectif, nous fondons notre analyse sur la fréquence avec laquelle les chaînes logistiques sont modélisées en utilisant soit la SED, la SD ou bien la SH. L'étude est basée sur un examen de plusieurs articles qui décrivent l'application des trois techniques de

simulation mentionnées aux différents types de CL. Ce qui nous conduit à aborder plusieurs questions à propos d'une éventuelle corrélation entre ces 2 typologies :

- Est-ce que la SH est exclusivement utilisée pour les CLH ?
- Est-ce que la SED peut être utilisée pour la modélisation des processus continus ?
- Si la SD est utilisée pour modéliser une CLC ou une CLH, quelles sont les règles de traduction utilisées pour discrétiser les processus continus (dans le cas de SH ou SED) ?

Pour répondre à ce questionnement, nous avons suivi une méthodologie de classification de la littérature relative à notre périmètre d'analyse (tableaux 3a et 3b) dans laquelle nous avons étudié la nature de la chaîne logistique (CLH, CLD et CLC), le type de décisions (opérationnel, tactique et stratégique) et les techniques de simulations utilisés (SED, SD, SH) [Degoun et al, 2015].

Ainsi, de manière implicite, les relations suivantes sont généralement admises par la communauté scientifique :

- Les CLD doivent être simulées à l'aide de technique de SED ;
- Les CLC doivent être simulées à l'aide de technique de SD ;
- Les CLH doivent être simulées à l'aide de technique de SH.

Une analyse des différents articles mobilisés dans le cadre de la modélisation /simulation de chaînes logistiques hybrides permet de ranger les propositions dans trois catégories :

- **Solution A** - Enchaîner les modélisations discrètes et continues, ce qui n'est possible que si les sous-systèmes sont séquentiels et ne partagent pas de ressources. Concrètement, la simulation d'un sous-système s'effectue sur la base des entrées datées dans ce sous-système durant le temps de la simulation et ses sorties deviennent les entrées du sous-système suivant. Ces simulations enchaînées sont indépendantes. Se posent alors les problèmes de « passages de témoin » entre modélisations de nature différente.
- **Solution B** - Utiliser une approche de modélisation unique pour décrire un système hybride.
 - Si la modélisation retenue est de type SD :
 - des modélisations continues de systèmes productifs discrets ont été réalisées, avec des informations très agrégées, pour éclairer la prise de décision qui est de nature stratégique
 - les modélisations continues sont inadaptées pour une prise de décisions tactiques ou opérationnelles dans les systèmes productifs discrets (détail insuffisant)
 - Si la modélisation retenue est de type SED : on se retrouve face à un problème technique de la « traduction » d'un processus continu en un processus discret:
 - **Solution B1** – Traduction « immédiate » lorsque le processus discret, connecté à un processus continu, effectue un transport (wagon...) d'un lot de liquides et/ou de granulés
 - **Solution B2** – Traduction relativement facile pour un processeur utilisable dans des productions variées (nomenclatures et gammes différentes), si les temps d'attente sont connus et ne dépendent pas de l'ordonnancement des productions

- **Solution B3** – Traduction plus compliquée dans les autres cas, le processeur devant être piloté périodiquement par un module décisionnel encapsulé (ou externe) s'appuyant sur une modélisation continue (équations différentielles) ; cette solution diffère de la solution A car elle est mobilisée périodiquement tout au long de la simulation discrète de la chaîne hybride.
- **Solution C** - Utiliser une modélisation unique s'appuyant sur une traduction des modélisations discrètes et continues (représentation unifiée), comme évoquée sans grande précision dans [Potočník et al, 2004].

La plupart des articles étudiés retiennent la SH comme moyen conventionnel pour simuler le fonctionnement d'une CLH. Néanmoins, cette utilisation présente quelques failles. Ainsi, [Melouk et al, 2013], [Chen et al, 2002] traitent la problématique de simulation d'une CLH à l'aide de la technique de simulation à événements discrets. En effet, le résultat de ces analyses permet de ressortir 3 arguments principaux :

- Lors de la construction d'un modèle de simulation pour des processus de production en continu, le niveau de détail et d'informations est trop faible dans la définition des dits modèles. [Chen et al, 2002]
- La SH nécessite des hypothèses restrictives dans le cadre de la modélisation des systèmes logistiques et augmente la complexité de la programmation logicielle et les temps de calcul. [Chen et al, 2002]
- Même si des chercheurs ont proposé des packages logiciels combinant la SED avec la SD, la plupart des problèmes scientifiques viennent de la conceptualisation des opérations de production pour la simulation, de la discrétisation des processus continus ainsi que du choix du niveau de détail pertinent pour ces modèles.

Chapitre 1 : Etude du contexte : la modélisation et la simulation des processus logistiques hybrides

Auteurs	Type de problèmes	Nature de la Chaîne logistique	Types de décision	Techniques de simulation utilisées
Beek et al (2000)	Classification des langages de modélisations /leurs applications dans les modèles hybrides et simulation	Clh	Opér	SED / SH
Hamaidi al. (1994)	Développement d'un programme général de simulation mixte MSPE (Mixed Simulation for Process Engineering)	Clh	Opér	SH
Falster (1987)	Combinaison de modèles de simulation pour les systèmes de planification de production	Clh	Opér	SH
Melouk et al (2013),	Développement d'un outil d'aide à la décision qui examine les changements potentiels à la conception et à l'exploitation d'une installation d'une usine de fabrication d'acier	Clh	Opér/ Strat	SED
Floudas et al (2004)	Vue d'ensemble sur les modèles en temps discret et les modèles en temps continu pour la planification des processus chimiques	Clh	Opér	SED/SH
Genc et al (2014)	Etude d'un système d'alerte précoce qui permet d'aider les entreprises opérant dans les chaînes d'approvisionnement pour faire face à la complexité et à la turbulence	Cld	Opér	SED
Saenz et al (2009),	Développement d'un système d'aide à la décision en temps réel (en réaction à des événements perturbateurs) dans une usine d'aluminium	Clh	Opér	SH
Giambiasi et carmona (2006),	Etude de modèle généralisé à événements discrets afin de faciliter le développement d'une approche uniforme pour modéliser les CLH	Clh	Opér	SH/SED
Mendes et al (2005),	Equilibrage de la chaîne d'assemblage	Cld	Opér	SED
Koh (2004),	Planification de capacités	Cld	Tact	SED
Weston et al (1999),	Planification de capacités	Clh	Tact	SED
Owens et al (2002),	Planification de capacités	Clh	Tact	SD
Kyamakya et al (2005),	Localisation d'infrastructures	Cld	Strat	SH
Lyneis (2000)	Prévisions	Cld	Strat	SD
Roser et al (2005)	Gestion des stocks	Cld	Tact	SED
Mehra et al (2006)	Gestion des stocks	Clc	Tact	SED
Park et al (2006)	ingénierie des procédés de fabrication	Clc	Tact	SED

Tableau 3 a: Techniques de simulation et nature de la chaîne logistique modélisée

Chapitre 1 : Etude du contexte : la modélisation et la simulation des processus logistiques hybrides

Auteurs	Type de problèmes	Nature de la Chaîne logistique	Types de décision	Techniques de simulation utilisées
Pfeil et al (2000)	ingénierie des procédés de fabrication	Clc	Tact	SED
Durieux et al (2004)	ingénierie des procédés de fabrication	Cld	Tact	SED
Giannini et al (1997)	Ingénierie des procédés de service	Cld	Strat	SED
Liu (1999)	Ingénierie des procédés de service	Cld	Strat	SED
Kadipasaoglu et al (1999)	Planification de production et contrôle des stocks	Cld	Opér	SED
Rabelo et al (2005)	Planification de production et contrôle des stocks	Cld	Opér	SH
Arer et al (1999)	Planification de production et contrôle des stocks	Clh	Opér	SH
Hahn et al (1999)	Affectation de ressources	Cld	Opér	SED
Gambardella et al (1998)	Affectation de ressources	Cld	Opér	SED
Bagdasaryan A (2011)	Modélisation et contrôle des systèmes complexes	Méthode	Tact	SH
Ghaeli et al (2008)	Planification de production	Clh	Opér	SH
Lee et al (2002)	Planification de production et contrôle des stocks	Clh	Tact	SH
Pierreval et al (2007)	Gestion et contrôle des stocks	Cld	Tact	SH
Beck et al (1997)	Test et contrôle des systèmes opérationnels	Clh	Opér	Hybride
Wanga et al (2006)	Planification de production	Cld	Opér/ Tact	Résolution hybride
Nidumolu et al (1998)	Modélisation et simulation des processus métiers	Cld	Tact	SED
Chen et al (2002)	Planification de capacités dans l'industrie chimique	Clh	Opér/ Tact	SED
Abduaziz et al (2015)	Evaluation des pratiques logistiques vertes dans l'industrie automobile	Clh	Opér / Tact / Strat	SH
Wang et al (2014)	Méthode d'évaluation d'un cycle de vie	Clh	Opér	SH
Wang et al (2013)	M/S Hybride d'un réseau de la chaîne logistique automobile	Clh	Opét / Tact	SH
Umeda et Zhang (2008)	Modélisation hybride pour la simulation d'une chaîne logistique	Cld	Strat / Opér / Tact	SH

Tableau 3 b: Techniques de simulation et nature de la chaîne logistique modélisée

Aussi, nous voudrions proposer des règles génériques indépendantes du logiciel de simulation retenu et dépassant les principes instanciés par [Chen et al, 2002]. Ces règles permettront de pallier ces difficultés d'une part, et de répondre aux exigences du niveau de détail nécessaire d'autre part. Ces règles génériques seront ainsi décrites et expliquées à l'aide de problèmes réels issus de la modélisation de la CLH de l'OCP SA dans les chapitres 3 pour les principes et 4 pour leur mise en œuvre.

5 CONCLUSION

Ce premier chapitre a planté le décor général de la thèse : la modélisation de processus hybride à l'aide de la SED et a justifié le recours à la SED.

Il est nécessaire également de recueillir et de cartographier les processus industriels avant de pouvoir les simuler. Nous avons également aussi expliqué pourquoi il était important, avant de simuler des processus industriels, de recueillir l'information à l'aide d'une approche de BPM orientée modélisation métier et nous utiliserons le formalisme ARIS (mais pas le logiciel associé) dans le contexte de notre recherche. Notons que nous aurions pu utiliser d'autres approches de recueil de la connaissance et d'autres formalismes orientés métiers mais l'objet de la thèse ne portant pas principalement sur ce point, aussi, nous partons de l'existant tracé par d'autres chercheurs du LIMOS et réutilisons leurs approches.

Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons à la modélisation d'un système hybride par un simulateur à événements discrets en vue de porter un éclairage économique pour les décisions tactiques et opérationnelles. La modélisation de processus partiellement discrets / partiellement continus pour décrire le fonctionnement d'un système industriel avec une maille spatio-temporelle relativement grossière pose quelques problèmes méthodologiques. Il est possible d'envisager le couplage de modèles de simulation continus avec des modèles de simulation discrets mais cette solution, techniquement lourde, n'est pertinente que pour des simulations effectuées sur des horizons de temps très courts. La piste que nous avons proposée [Degoun, Retmi et al, 2014, 2015] dans le contexte de la chaire d'optimisation industrielle, et qui ne semble pas avoir été beaucoup explorée, est celle d'une utilisation d'un simulateur à événements discrets pour modéliser simultanément des processus discrets et des processus continus.

Nous présentons l'état d'avancement de la recherche dans l'évaluation économique des processus hybrides à l'aide de la simulation dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme.

Table des matières

1	Modèle de valorisation pour le SCC	48
1.1	Le caractère pluriel et polymorphe du Supply Chain Costing.....	48
1.2	Les méthodes de valorisation.....	51
1.2.1	Les coûts complets (full Costing).....	52
1.2.2	Les coûts partiels	52
1.2.3	La méthode Activity Based Costing	53
2	Activity Based Costing pour la supply chain	55
2.1	Littérature empirique et mise en œuvre d'ABC dans un contexte Supply Chain	55
2.2	Activity based management et Supply Chain Management.....	59
3	Couplage ABC - SED	61
3.1	Couplage ABC et SED : Grille de lecture.....	61
3.2	Couplage ABC et SED : Discussions.	63
4	Structuration de l'information sous la forme d'un tableau de bord de la Supply Chain pour l'aide à la decision	68
4.1	Construction d'un tableau de bord.....	68
4.2	Les fonctions d'un tableau de bord.....	70
4.3	Cohérence spatiale et temporelle des tableaux de bord (Annexe 4).....	71
5	Conclusion	71

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme

Ce chapitre a pour ambition d'étudier l'état d'avancement de la recherche relativement au couplage des approches de contrôle de gestion dans le contexte de la construction de SIAD et de déterminer quel type de modèle de valorisation intégrer dans un SIAD orienté processus hybride et pilotage opérationnel et tactique.

Selon [Goldbach, 2002], il existe deux concepts issus du contrôle de gestion et utilisables dans le SCM : La comptabilité par activité (ABC) qui fournit un cadre de coopération pour la gestion des coûts dans les chaînes logistiques. Le « Target Costing » qui peut servir soit comme une coopérative fondée sur la confiance, soit comme une confrontation fondée sur le pouvoir. Le « Target Costing » porte sur des opérations de conception qui ne sont pas dans notre objet d'étude ; nous n'analyserons pas cette approche dans le cadre de notre travail de recherche. Cependant, avant que les coûts puissent être déterminés par ABC, une compréhension approfondie des activités et de leur rapport avec les coûts basés sur chaque activité doit être développée.

Notre recherche, comme indiquée en introduction, s'inscrit dans le courant du Supply Chain Costing [Seuring, 2002] (SCC). Dans un premier temps, nous aborderons la notion de performance dans le cadre du SCC ainsi que les limites des approches existantes du SCC pour l'évaluation des performances. Le consensus de la littérature pour l'usage d'ABC dans un contexte de management logistique nous pousse à rappeler le contenu de cette méthode qui est maintenant devenue enseignée dans toutes les Business Schools et universités et dont nous rappellerons les caractéristiques dans la deuxième section. Nous nous sommes inspirés pour la rédaction de ce chapitre de [Bouquin 2003, 2008] et [Mevelléc, 1990,2003].

Nous réalisons dans l'avant dernière section de ce chapitre une revue de la littérature sur le couplage d'ABC la SED afin de montrer l'état de la recherche sur le problème de construction d'un SIAD orienté évaluation économique. Enfin, dans un dernier point, nous décrirons les approches formelles permettant de structurer l'information issue des modèles d'aide à la décision sous la forme d'un tableau de bord pour la CL : l'objet de cette section est également de présenter, pour le non spécialiste de contrôle de gestion, quelques notions affaissant à la construction de tableau de bord.

1 MODELE DE VALORISATION POUR LE SCC

Le premier paragraphe de cette section présente les aspects du SCC tandis que le deuxième paragraphe se focalise sur les méthodes de valorisation utilisables dans le contexte du SCC. Ensuite, nous allons décrire les limites des approches existantes du SCC pour l'évaluation des performances.

1.1 Le caractère pluriel et polymorphe du Supply Chain Costing

Le SCC constitue l'extension des méthodes du contrôle de gestion dans le contexte du SCM. Dans cette section, l'idée est d'analyser les outils et les méthodes du SCC utilisées en SCM pour la construction de SIAD. Le SCC doit être capable de lier les indicateurs de performance (des éléments permettant au pilote du système de contrôle de gestion de prendre une décision adéquate : c'est-à-dire soit de changer les objectifs, soit de modifier les processus) avec les coûts et transformer les indicateurs en levier d'action. Dans ce cadre, deux outils sont utilisés :

- a. Les tableaux de bord issus des SIAD : d'après les analyses effectuées par [Fenies, 2006], ces tableaux de bord issus des SIAD peuvent être structurés par rapport au

cadre proposé par Kaplan et Norton et relie ainsi le niveau opérationnel / tactique d'un SIAD orienté simulation avec la stratégie de l'organisation. A partir du moment où les processus de la SC sont identifiés par une action de BPM, il convient de déterminer, pour chacun d'entre eux, quels sont les indicateurs susceptibles de révéler le niveau d'efficacité et d'efficacités. A cet effet, de nombreux auteurs proposent de structurer l'information provenant de ces indicateurs sous la forme de tableaux de bord [Cross et Lynch, 1989; Chiapello et Delmond, 1994 ; Kaplan et Norton, 1992, 1993, 1996 ; Edvinson et Malone, 1997]. Ces systèmes d'indicateurs analysent la performance des processus organisationnels suivant plusieurs axes. Chaque indicateur de performance aura une signification propre et traduit les objectifs stratégiques au niveau opérationnel [Bouquin, 2003]. Les indicateurs de performance sont toujours regroupés dans un état, un système, un tableau de bord [Kaplan et Norton, 1998] et devraient être organisés de manière cohérente par rapport aux objectifs de l'organisation que le SIAD rappelle. La section 4 de ce chapitre rappelle quelques notions ayant trait à la construction / conception de tableau de bord.

- b. La méthode ABC : l'intégration des modèles de type ABC a pour objectif d'évaluer le flux financier. Le recours à un système ABC permet de fournir l'information sur les coûts de la SC à l'aide d'une approche processuelle qui permet de faire coïncider les modèles de coûts avec la représentation qu'on les logisticiens et les gestionnaires de production de leur système. Dans leur article de 1996 sur le SCC, [La Londe et Pohlen, 1996] présentent un ensemble de techniques de mesures orientées processus. Leur proposition de généralisation de la technique ABC pour évaluer les processus et le flux financier a depuis été reprise par de nombreux auteurs dans le contexte du SCM.

[Boons, 1998 ; Gunasekaran et Sarhadi, 1998 ; Sénéchal et Tahon, 1998 ; La Londe et Ginter, 1999 ; Briers et Chua, 2001 ; Kulmala et al, 2002 ; Seuring, 2002 ; Gupta et Galloway, 2004]. La revue de la littérature, réalisée dans le cadre de recherches doctorales sur l'évaluation des processus de la SC [Tham, 1999 ; Moranna, 2002] ou dans le cadre d'états de l'art pour l'évaluation de la SC [Gunasekaran et al, 2005] montre la pertinence de la méthode ABC par rapport aux autres méthodes de valorisation dans le contexte logistique. Nous présentons succinctement le principe de fonctionnement de la méthode et montrons l'intérêt de son utilisation dans le contexte du SCC avant de présenter son intégration avec d'autres méthodes de management.

Selon [La Londe et Pohlen, 1996], le SCC fournit un mécanisme pour l'élaboration des mesures de performance basées sur les coûts pour les activités comprenant les processus clés au sein de la CL.

Le SCC utilise un grand nombre de techniques de valorisation ; cependant, il diffère par attribuer les activités dans la CL. L'approche permet de surmonter les obstacles concernant la disponibilité des informations sur les coûts et diffère également en incluant la transaction, les informations, les flux physiques, ainsi que les coûts de possession. La figure 16 illustre l'intégration du SCC dans le SCM.

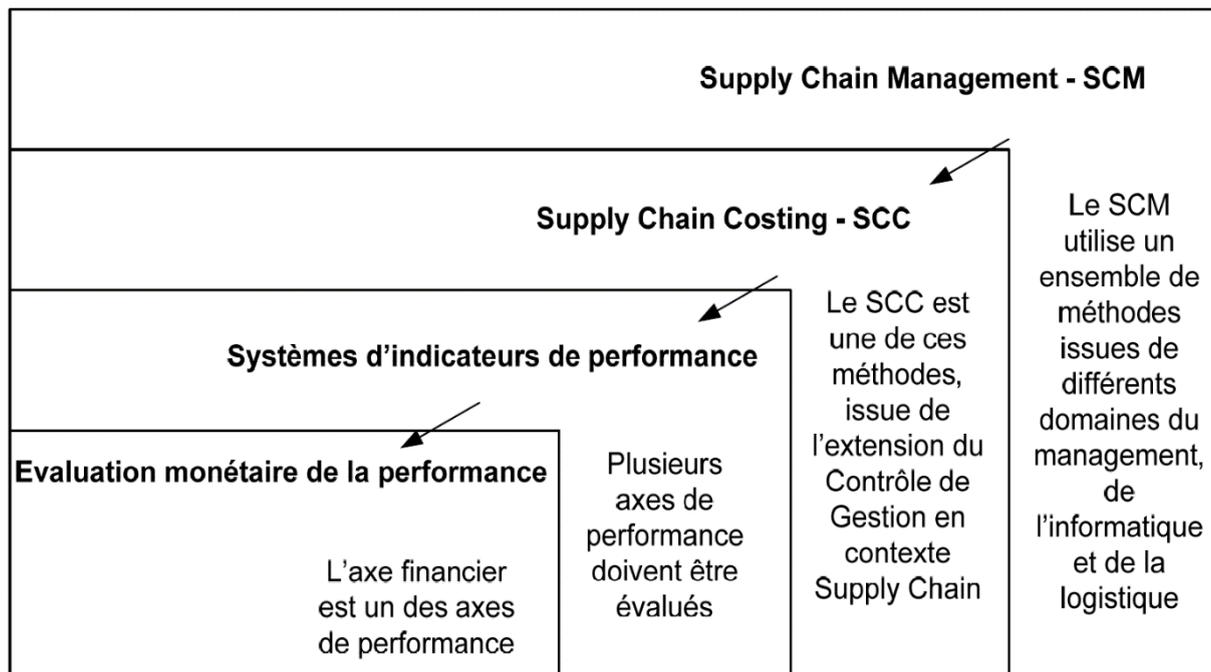


Figure 16: Intégration du SCC dans le SCM [Fenies, 2006]

Conscients de la difficulté d'évaluer les processus de la CL, [La Londe et Pohlen, 1996], [Seal et al, 1999], [Li et al, 2001] puis [Seuring, 2002] proposent, sous le terme du SCC une synthèse des approches issues du contrôle de gestion, utilisables dans un contexte logistique. [Goldbach, 2002] présente l'objet du SCC comme l'extension du contrôle de gestion sur l'ensemble de la CL dans le cadre du SCM, impliquant une approche permettant de dépasser les frontières organisationnelles.

Le SCC ne remplace pas la comptabilité analytique traditionnelle existante, au lieu de cela, il traduit ce grand livre en un outil de diagnostic que les gestionnaires peuvent utiliser pour évaluer les performances et la consommation des ressources. Le SCC essentiellement crée une autre série de « livres » qui peut être utilisé pour tracer l'effet des décisions de gestion de la rentabilité de l'entreprise ou pour fournir des coûts de la chaîne et de la performance. Les entreprises peuvent utiliser le SCC comme un outil stratégique pour les relations de restructuration au sein de leurs canaux de distribution.

Le SCC peut jouer un rôle essentiel dans l'attribution des avantages et des charges dans le canal. Il fixe les bases d'un mécanisme d'allocation en traçant avec précision les coûts des ressources et les gains que chaque partenaire recevra.

Donc, le SCC est une des méthodes utilisées par le SCM, issue de l'extension du contrôle de gestion en contexte de SC.

La synthèse des approches s'intégrant dans le SCC montre :

- la nécessité de structurer l'information décisionnelle sous la forme de tableaux de bord suivant des axes de performance intégrant l'efficacité et l'efficience pour les flux physique et financier
- que le couplage de méthodes de RO avec ABC montre l'intérêt d'évaluer économiquement des scénarios de SCM. La recherche opérationnelle développe un certain nombre de modèles informatiques pour l'aide à la décision qui permettent de proposer des solutions faisables (simulation) ou optimales (approches exactes) pour le flux physique de la SC.

1.2 Les méthodes de valorisation

Ce paragraphe a pour objectif de présenter les méthodes traditionnelles et modernes de la comptabilité de gestion utilisables en contexte du SCC. Cette section présente rapidement un ensemble de concept et d'approche qui sont parfois enseignées dans les écoles de management et constitue plus un cadre permettant au non spécialiste du contrôle de gestion et de la comptabilité analytique de comprendre notre démarche. Nous n'avons mis que peu d'auteurs dans cette section et nous avons réalisé une synthèse de pratique d'enseignements du domaine compta / contrôle. Le spécialiste du domaine retrouvera les filiations des concepts et éléments mobilisés.

Une méthode de valorisation permet précisément d'estimer pour chaque service ou produit les coûts dont il est responsable, afin de connaître les marges /coûts de chaque produit/service et de prendre les meilleures décisions pour le développement de l'entreprise. Pour faciliter la prise de décision, divers outils sont à la disposition des gestionnaires pour l'évaluation et l'analyse des coûts. La comptabilité de gestion d'une entité peut donc être organisée selon différentes méthodes de calcul de coûts. Ces méthodes peuvent aussi être mobilisées pour valoriser les activités et la création de valeur pour l'ensemble de la CL. Les modèles de coûts aident les propriétaires et gestionnaires d'entreprises à calculer le coût de certaines activités et processus. Grâce à l'utilisation de calculs financiers ou l'allocation de comptabilisation des coûts, les entreprises peuvent prendre des informations de base relatives aux ressources, telles que les matières premières et la main-d'œuvre directe, et de transformer les données en coûts utiles pour la fixation du prix des biens et services. Les entreprises peuvent mettre en place des modèles de coûts différents en fonction de leurs besoins, que ce soit financier ou opérationnel.

Beaucoup d'entreprises utilisent différents modèles de coûts dans leurs opérations quotidiennes. Comme le but des entreprises à but lucratif est de maximiser la valeur économique pour les propriétaires et les actionnaires, le fait de trouver des moyens de réduire les coûts est une étape cruciale dans la réalisation de cet objectif. Un autre but pour les modèles de coûts est de créer un processus reproductible qui permet aux propriétaires et aux gestionnaires d'appliquer le modèle à des situations multiples.

Un exemple de base d'un modèle de coût financier provient de la méthode de la comptabilité par activité constaté dans les pratiques de comptabilité de gestion. Selon ce modèle, les entreprises doivent identifier les activités qui animent les coûts, la main-d'œuvre nécessaire pour terminer les activités de production et l'inducteur de coût pour l'application de frais généraux de fabrication (coûts indirects de production). Grâce à ce modèle, les entreprises peuvent identifier avec précision la façon dont elles peuvent affecter les coûts de production pour les produits de toutes les activités au sein d'une entreprise.

Nous décrivons dans la suite de ce paragraphe les différentes méthodes de valorisation utilisées classiquement dans les organisations contemporaines ; nous nous sommes inspirés des cours de contrôle de gestion et de comptabilité analytique de [Engel et Kletz, 2007] de l'école des Mines de Paris pour décrire ces méthodes de valorisation qui sont devenues des « lieux communs » pour les spécialistes de management des organisations.

1.2.1 Les coûts complets (full Costing)

La méthode des coûts complets a pour objectif de chiffrer le coût de revient en vue notamment d'établir la politique tarifaire de l'entreprise et de permettre d'expliquer le résultat de l'entreprise en comparant pour chaque item produit (biens ou services) le prix de vente et le coût de revient. Elle est fondée sur la distinction entre :

- **Les charges directes**, qu'il est possible d'affecter immédiatement, sans calcul intermédiaire, au coût d'un item (produit, service, activité, atelier...) déterminée. Dans le contexte de Maroc Phosphore, le coût des matières premières nécessaires à la production de l'engrais des ouvriers constitue une charge directe pour le produit final.
- **Les charges indirectes**, qui concernent plusieurs coûts ; elles font l'objet d'une répartition et nécessitent un calcul préalable à leur imputation ; la répartition de ces charges est faite de manière arbitraire par les contrôleurs de gestion ou par les modèles de comptabilité analytique à l'aide d'unité d'œuvre. L'approche retenue pour répartir les charges indirectes est qualifiée de fonctionnelle car elle suit l'organigramme de l'organisation et cherche à répartir les coûts en suivant ce dernier (les centres d'analyse correspondent souvent à une fonction de l'organisation évaluée). Par exemple, dans le contexte de Maroc Phosphore, le coût salarial du service RH de Maroc phosphore est une charge indirecte qu'il est compliquée d'affecter sans calcul au coût de revient d'une tonne d'engrais.

1.2.2 Les coûts partiels

Selon [Engel et Kletz et al, 2007], on parle de calcul de coûts complets lorsque ces coûts calculés tiennent compte de toutes les charges supportées par l'entreprise, de coûts partiels lorsqu'on ne prend en compte dans le calcul qu'une partie de ces charges : soit les éléments directs, c'est-à-dire affectables sans ambiguïté aux produits, soit les éléments variables, c'est-à-dire variant proportionnellement avec les quantités produites ou vendues. On reviendra ultérieurement sur les définitions plus précises de ces termes.

Pour [Launois, 1995], les coûts partiels résultent de l'affectation d'une partie des charges sur des activités intermédiaires ou définitives. Les principaux coûts partiels sont, d'une part les coûts fixes et les coûts variables et, d'autre part, les coûts directs et indirects.

Un coût partiel est un coût constitué par des charges intervenant à un stade d'analyse intermédiaire. Il ne comprend qu'une partie des charges. Les méthodes de coûts partiels sont particulièrement adaptées pour la prise de décision. Elles permettent d'appréhender la notion de marge (différence entre le chiffre d'affaires et un coût partiel).

Plusieurs coûts partiels peuvent être distingués :

- **coût variable** : coût constitué seulement par les charges qui varient avec le volume d'activité de l'entreprise sans qu'il y ait nécessairement exacte proportionnalité entre la variation des charges et le niveau d'activité ; par exemple, la matière première soufre nécessaire à la fabrication d'acide phosphorique.
- **Coût fixe** : coût qui ne varie pas en fonction du volume d'activité de l'entreprise sur une période d'analyse donnée et qui est constitué de charge ne variant pas en fonction du niveau d'activité : par exemple l'amortissement d'une machine située sur une ligne d'engrais à Maroc Phosphore.

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme

- coût direct : coût constitué par des charges qui lui sont directement affectées. Les coûts directs peuvent être fixes ou variables.

1.2.3 La méthode Activity Based Costing

La figure 17 rappelle le continuum historique qui a entraîné la naissance de la méthode ABC et sa lente propagation.

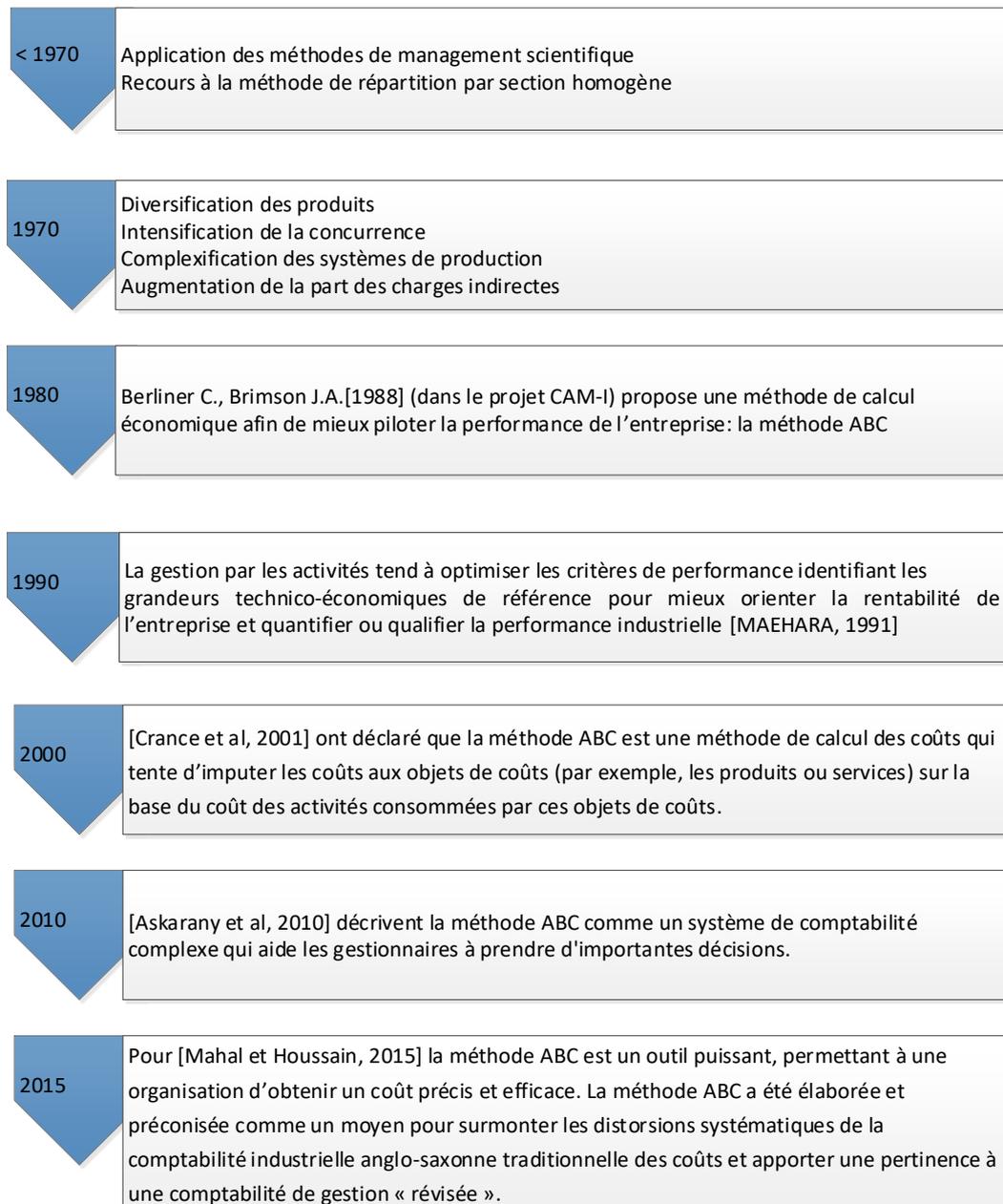


Figure 17: La naissance de la méthode ABC

Sur les méthodes citées ci-avant, aucune n'est à exclure. Il n'est également pas question de toutes les utiliser. Chaque méthode est la plus appropriée en fonction des objectifs, des contraintes et des contextes économiques.

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme

Nous proposons de montrer dans la figure 18 en quoi une approche ABC constitue une approche générique par rapport aux autres méthodes de valorisation. Cette figure reprend l'analyse de [Fenies, 2006] et regarde chaque modèle de valorisation suivant :

- Le périmètre organisationnel associé à la méthode de valorisation
- La maille d'analyse ou le niveau de granularité organisationnel pertinent
- Les niveaux d'analyses (ou les cubes décisionnels que l'on peut fabriquer avec à l'aide d'approche Big Data)
- La maille d'analyse
- La responsabilité comptable
- La qualité de l'information collectée et produite
- Le sens causal de l'information produite et l'identification de leviers d'action.

Cette analyse montre que le modèle ABC constitue un cadre général des modèles de valorisation et que les 3 autres modèles sont des instances particulières d'ABC : coût complet sera formalisé comme un modèle ABC sans lien causal et dans lequel activité et fonction sont confondus ; Direct costing devient une instance particulière d'ABC dans laquelle les coûts indirects ont disparues et Marginal Costing devient une manière de calculer un coût partiel.

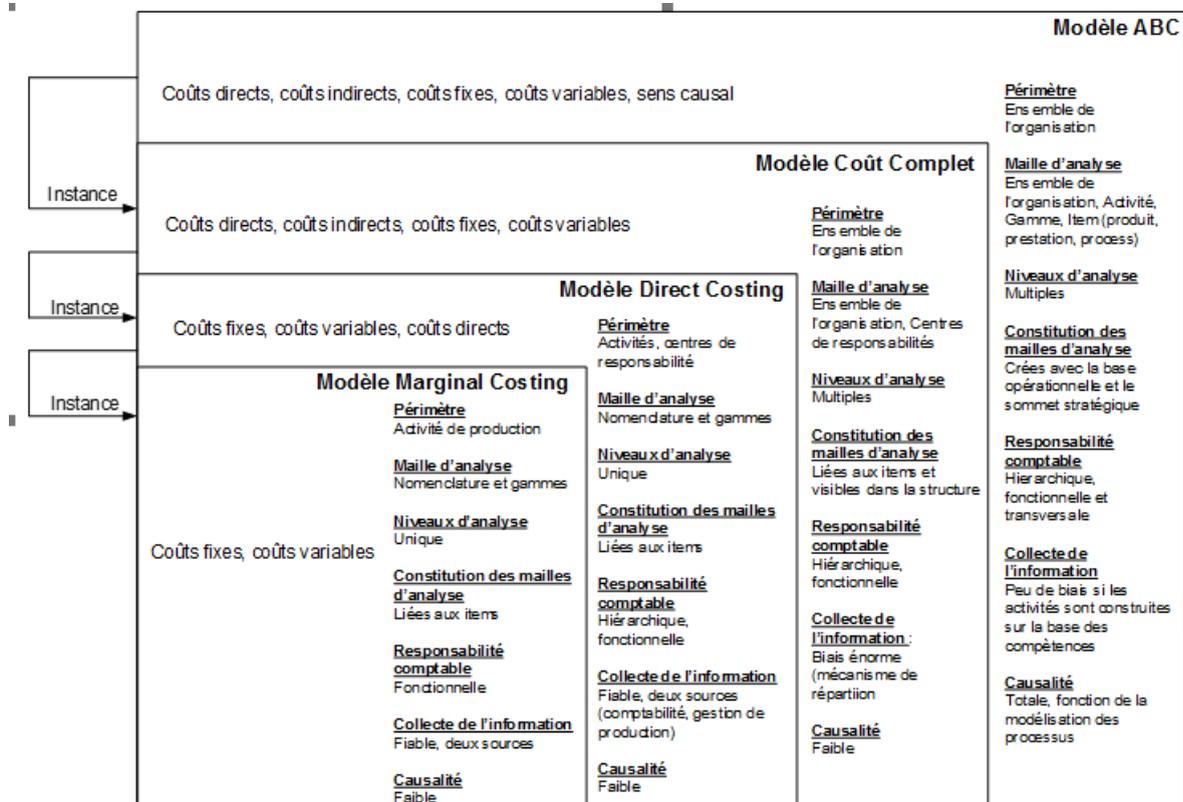


Figure 18: Paramètres de conception et imbrication des systèmes de valorisation

En effet, les différentes méthodes s'imbriquent les unes dans les autres, la méthode ABC étant la plus grande (celle qui constitue le cadre conceptuel le plus large) et la méthode des coûts marginaux l'instance la plus particulière. L'implantation dans un logiciel du modèle ABC permet d'instancier ensuite n'importe quelle méthode de valorisation sur n'importe quel système en déclinant les différents paramètres du modèle de valorisation désiré. Les modules de contrôle de gestion des ERP contiennent une vue ABC et permettent de paramétrer ensuite n'importe quel système de valorisation. Par exemple, le système « Coût complet » est :

- Un système ABC pour lequel le sens causal de la modélisation n'est pas activé
- Une instance dans laquelle inducteurs et unités d'œuvre sont confondus
- Une instance pour laquelle les activités correspondent aux centres de responsabilité de l'organisation.

ABC peut améliorer la performance organisationnelle de différentes façons : aider les organisations à devenir plus efficaces ; fournir aux organisations une image claire de l'endroit où les fonds sont dépensés ; offrir aux organisations une meilleure alternative au produit en fonction des coûts ; identifier les activités à valeur ajoutée et éliminer ou réduire les activités sans valeur ajoutée. ABC fournit aux organisations une meilleure compréhension de la formation des coûts à l'aide d'une approche causale par la mécanique des inducteurs et permet d'identifier des leviers d'action conduisant à une meilleure performance organisationnelle.

Le choix de la méthode de valorisation ABC comme outil pour notre recherche a été fait de façon à pouvoir passer à des BU orientées processus industriels dans le contexte de OCP SA pour pouvoir être couplé à des simulateurs informatique, à partir des systèmes existants de contrôle de gestion industriel qui sont associés à des centres de coûts par entité fonctionnelle.

2 ACTIVITY BASED COSTING POUR LA SUPPLY CHAIN

Cette section propose d'analyser l'existant sur la comptabilité et le management par activités dans le domaine de la SC afin de trouver une piste pour la construction d'un modèle d'aide à la décision qui relie les règles du pilotage au contrôle de gestion.

2.1 Littérature empirique et mise en œuvre d'ABC dans un contexte Supply Chain

Notre analyse mobilise des articles traitant de cas concrets, portant sur des chaînes logistiques et utilisant la méthode ABC pour le calcul des coûts. Pour atteindre cet objectif, nous fondons notre analyse sur la fréquence avec laquelle la méthode ABC est appliquée sur une CL hybride, continue ou discrète dans un ensemble d'articles qui décrivent l'application de la méthode ABC. Pour [Kee, 1995] qui traite d'un cas de CLD, ABC diffère des systèmes de coûts traditionnels sur deux points importants. Premièrement, il relie les coûts indirects aux objets de coûts tels que les produits et les clients sur la base des inducteurs de coûts qui causent ou qui sont hautement en corrélation avec ces coûts indirects. Deuxièmement, ABC retrace les coûts indirects sur la base de la structure de niveau hiérarchique à laquelle les coûts sont engagés dans le processus de production.

La grande force du modèle ABC réside dans la modélisation des processus réalisée pour mettre en place le système de valorisation. Pour chaque processus, un ou plusieurs inducteurs de coûts (cost driver) sont identifiés et fournissent l'unité de mesure de l'activité. Plus l'item évalué, qu'il s'agisse d'une prestation, d'un produit ou d'un processus, consomme d'inducteurs, plus il consomme d'activités et donc de ressources indirectes. En identifiant les inducteurs par la modélisation des processus, puis en évaluant le fonctionnement de l'entité, le système ABC explique la formation des coûts de revient pour un item quelconque et donne plus de leviers d'action pour baisser les consommations de ressources indirectes que les autres systèmes de costing.

Par exemple, selon [Tsai et al, 2013], la méthode ABC est devenue un système populaire de calcul de coût pour pallier les lacunes des systèmes traditionnels de calcul des coûts. [Tsai et

al, 2013] présentent quatre principaux avantages du système ABC : (1) identification précise du coût du produit, en particulier les frais généraux ; (2) informations plus précises sur les coûts à valeur ajoutée et ceux à non-valeur ajoutée par l'identification des inducteurs de coûts; (3) l'attribution directe des coûts des produits ou procédés qui consomment des ressources; et (4) l'identification des coûts à non-valeur ajoutée.

Diverses enquêtes ont également indiqué que l'approche ABC a été utilisée pour analyser les différents types de décisions, [Kee, 2007, 2008], l'externalisation des décisions [Kee, 1998], la conception et le développement [Ben-Arieh et Qian, 2008], et l'analyse des flux physiques et financiers [Comelli et al, 2008]

Selon [Rasmussen et al, 1999], une mise en œuvre de la méthode ABC est conçue comme un processus en deux étapes. La première étape transfère les coûts associés à la consommation de ressources et de soutien à des activités, et la deuxième étape alloue les coûts d'activité aux produits. [Rasmussen et al, 1999] concluent leur article par une étude de cas de CLD.

Pour [Mahal et Houssain, 2015] la méthode ABC est un outil puissant, permettant à une organisation d'obtenir un coût précis et efficace. La méthode ABC a été élaborée et préconisée comme un moyen pour surmonter les distorsions systématiques de la comptabilité industrielle anglo-saxonne traditionnelle des coûts et apporter une pertinence à une comptabilité de gestion « révisée ».

La majorité des auteurs qui proposent d'étudier les flux financiers au niveau d'une CL se concentrent sur les modèles de coûts tels que la méthode ABC qui a été introduite par [Cooper et Kaplan, 1999].

Pour [Yahya-Zadeh, 2011], la méthode ABC est largement reconnue comme un outil d'aide à la décision pour l'identification des produits rentables et non rentables dans un contexte de SCM. Elle fournit une approche systématique pour l'analyse des frais généraux et des frais fixes et pour l'identification des activités sans valeur ajoutée, de processus et de produits.

Les utilisateurs de la méthode ABC devront identifier les activités qui génèrent des coûts et ensuite imputer les coûts aux produits. Ainsi, ABC peut être utilisée pour identifier les activités à valeur non-ajoutée et de les éliminer avec l'objectif d'améliorer la performance d'un système de fabrication comme une SC [Gunasekaran et Sahadi, 1998].

[Crance et al, 2001] ont déclaré que la méthode ABC est une méthode de calcul des coûts qui tente d'imputer les coûts aux objets de coûts (par exemple, les produits ou services) sur la base du coût des activités d'exploitation ou logistique consommées par ces objets de coûts.

Pour [Lalonde et Pohlen, 1996], ABC est une technique pour attribuer les coûts directs et indirects d'une organisation aux activités consommant les ressources de l'organisation, puis tracer ensuite les coûts de l'exécution de ces activités sur les produits, sur les clients et les circuits de distribution qui consomment les activités. Selon [Lalonde et Pohlen, 1996], la SC est utilisée pour décrire un processus d'entreprise qui se concentre sur la relation en dehors de l'entreprise, et en apportant de la valeur maximale pour le consommateur final. [Lalonde et Pohlen, 1996] se concentrent sur les principes de calcul des coûts dans une SC.

[Askarany et al, 2010] décrivent la méthode ABC comme un système de comptabilité complexe qui aide les gestionnaires à prendre d'importantes décisions dans le contexte de la planification des activités logistiques et de production. ABC peut améliorer la performance organisationnelle comme suit : aider la production à devenir plus efficace ; fournir au Supply Chain Manager une image claire de l'endroit où les ressources sont dépensées ; offrir aux organisations logistiques des leviers d'action utilisables par les opérationnels ; identifier les activités à valeur ajoutée et

éliminer ou réduire les activités sans valeur ajoutée. ABC fournira aux organisations logistiques une meilleure compréhension de la relation de cause à effet entre les coûts et les exigences pour les activités au sein d'un processus conduisant à une meilleure performance organisationnelle. La principale difficulté de sa mise en œuvre repose sur les niveaux de granularité de formalisation de l'organisation (différents des méthodes dites traditionnelles) : elle nécessiterait une approche de modélisation et de formalisation des processus d'entreprise très coûteuse et pas forcément « rentable à court terme » [Seuring, 2002].

[Pike et al, 2011] examinent la satisfaction des utilisateurs sur la performance de la méthode ABC pour trois types de système en Asie du Sud-Est. Le développement de la méthode ABC a été entrepris pour soutenir la gestion au sein d'une structure, notamment la gestion du processus de calcul des coûts, de la prise de décisions et de contrôle. Pour cela, plusieurs études ont été menées concernant le succès de la méthode ABC. Dans ce cadre, une enquête a été faite pour les développeurs et les utilisateurs des systèmes, en plus de l'enquête, des entrevues ont été réalisées pour aider à comprendre le développement de la méthode ABC au sein de l'organisation de la production. Pour les trois types de système (le système embarqué, le système ad hoc et le système autonome), les utilisateurs perçoivent qu'il y a une meilleure amélioration de la performance avec les systèmes autonomes. Il s'est également avéré que les systèmes ad hoc sont perçus comme offrant de meilleures performances que les systèmes embarqués. Pour conclure, les résultats de ces enquêtes et de ces entrevues montrent que les performances de l'utilisateur varient en fonction du type de système qui est important pour l'évaluation des performances de la méthode ABC.

[Ben-Arieh et Qian, 2003] traitent la méthodologie d'utilisation de la méthode ABC pour l'analyse des coûts de conception et de développement. Cette méthode retrace les coûts par le biais des activités donnant des informations plus traçables sur les coûts. Pour ce faire, [Ben-Arieh et Qian, 2003] proposent une revue de la littérature de différentes estimations de coûts. L'étude de [Ben-Arieh et Qian, 2003] montre les sept étapes de la mise en œuvre de la méthode ABC, ses avantages et ses inconvénients en contexte de SCM. Dans une étude de cas contextualisée, la méthode ABC repose sur une analyse détaillée des activités, la vue détaillée de ces activités permet un meilleur suivi des coûts et permet aussi de distinguer entre la valeur ajoutée et non ajoutée des activités ainsi que l'efficacité des ressources. Puis, ils ont fait une comparaison entre la méthode du calcul des coûts ABC et la méthode traditionnelle de type coût complet. Dans cette méthode traditionnelle, on ne considère que le temps d'usinage comme un outil pour calculer les frais, sans tenir compte des activités exercées en détails. Par contre, la méthode ABC semble être plus précise que la méthode de coûts traditionnelle et examine plus en détail les causes de la formation des coûts.

Selon [Askarany et al, 2010], la SCM peut être considérée comme un élément clé pour améliorer la productivité et la performance organisationnelle. Ils examinent dans une étude les différents types d'améliorations que la méthode ABC peut offrir à la SCM et la performance de l'organisation. Ils confirment que pour une meilleure exploitation de la SCM et une amélioration de la performance de l'organisation, la méthode ABC peut être considérée comme l'une des meilleures techniques. Pour cela, plusieurs études ont porté sur la relation entre les étapes de l'adoption de la méthode ABC et les facteurs organisationnels. Dans ce cas, un questionnaire a été envoyé aux membres d'un institut de comptabilité de gestion en Nouvelle-Zélande. Les résultats de cette enquête suggèrent que l'adoption de la méthode ABC dans les grandes entreprises est plus élevée que dans les petites entreprises en Nouvelle-Zélande. Ils suggèrent également que l'adoption de la méthode ABC est plus importante pour les entreprises

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme

manufacturières multi-produits et qu'elle est un facteur-clé de succès pour ce type d'organisation.

[Boons, 1998] présente une tentative qui permet de fournir un modèle qui rassemble les avantages de la méthode ABC et un modèle du processus de fabrication. Il présente le modèle d'entrée-sortie des systèmes de fabrication, et à partir de ce premier modèle, il propose un modèle amélioré qui fournit une base pour la planification basée sur les activités dans lesquelles la planification et les coûts sont intégrés.

[Comelli et al, 2008] proposent de mettre en œuvre la méthode ABC dans un contexte de SCM. Ils proposent aussi l'approche PREVA qui est basée sur un couplage de modèles qui permet aux gestionnaires de la Supply Chain d'associer à chaque plan un budget. Cette approche propose l'intégration des objectifs financiers et de gestion de trésorerie avec des contraintes physiques et la modélisation ABC afin d'évaluer la planification de la production tactique. Ensuite, la modélisation proposée est appliquée sur la SC d'une manufacture de pneu et montre que ce modèle améliore la visibilité de coût, le lien entre les flux physiques et financiers en tenant compte des modalités de paiement ainsi que la possibilité de configurer les flux de la SC en fonction d'alternatives économiques et opérationnelles.

Selon [Schulze et al, 2012], pour la mise en place d'une nouvelle stratégie de la SC et l'optimisation de certains processus, les entreprises ont besoin des outils de comptabilité analytique inter-entreprises. La technique de gestion des coûts la plus utilisée serait la comptabilité par activités.

Ces auteurs (tableau 4) ont effectué plusieurs recherches sur l'utilisation de la méthode ABC inter-entreprises et la gestion des coûts sur toute la CL.

[Dekker and van Goor, 2000]	Il décrit l'optimisation de la rentabilité de la SC
[Seuring, 2002a]	Il présente une approche de 3 étapes pour l'utilisation de la méthode ABC dans les SCs
[Moller and Moller, 2002]	Il montre comment les fournisseurs sont intégrés dans le processus de développement de produits basé sur l'analyse de la méthode ABC pour calcul des coûts de toute la SC
[Bacher, 2004]	Il reprend un modèle proposé par Seuring et propose de reprendre le modèle ABC interne et de l'appliquer entre les entreprises
[Pohlen and Coleman, 2005]	Il propose un cadre dans lequel la méthode ABC est utilisée pour quantifier les considérations de l'analyse de la valeur économique ajoutée en termes de coûts

Tableau 4: Approche ABC

Ensuite, ils ont mis l'accent sur une liste de critères pour développer une nouvelle approche de la méthode ABC qui serait applicable à une SC telle que : le genre de relation d'affaires qui détermine le type de technique de comptabilité de gestion appliquée, le contenu de cette relation, la longueur de la SC afin de savoir combien d'entreprises font partie de cette chaîne, l'évaluation en temps réel des données de différentes entreprises...

Le modèle ABC proposé par ces auteurs comprend deux étapes : configuration et calcul

Etape de configuration :

- Définition des sous-processus
- Identification des activités des sous processus
- Définition des inducteurs de coûts
- Détermination des quantités des inducteurs de coûts
- Identification des activités qui ont la plus grande influence sur le facteur des coûts.
- Définition des critères de sélection des fournisseurs

Etape de calcul :

- Calculer le temps de réalisation d'une activité
- Déterminer le coût standard des ressources fournies pour chaque activité
- Calculer le coût total
- Faire des évaluations

L'étude détaillée de la littérature montre que, par rapport à notre problématique, l'approche d'utilisation de la méthode ABC dans l'environnement de la SC par [Schulze et al, 2012] est très intéressante parce que cette approche se rapproche de la démarche que nous allons utiliser pour concevoir notre modèle d'aide à la décision.

2.2 Activity based management et Supply Chain Management

Cette étude détaillée montre également que la méthode ABC est couplée par un management par l'activité. L'Activity Based Management (ABM) est le prolongement de la maîtrise des coûts. Cette méthode nous permet de passer à une méthode d'évaluation de l'efficacité, d'amélioration de la performance, de diagnostic des dysfonctionnements et de pilotage des activités. La méthode ABM analyse les différents coûts résultants d'une mesure ABC afin d'en déterminer les causes et mener ainsi les actions d'amélioration nécessaires. Elle permet de déterminer les activités porteuses de valeurs et celles qui ne le sont pas.

Dans le cadre de cette méthode, il faut piloter la performance par les processus. La performance doit intégrer les aspects de coûts, de délais, de qualités et de participation à la valeur. La méthode ABM est dotée de trois indicateurs de performances (indicateur de mesure de performance, indicateur de maîtrise de performance et indicateur de suivi de performance). Selon [Investopedia, 2017], la gestion par activités (ABM) est une procédure qui a été élaborée dans les années 1980 pour analyser les processus d'une entreprise afin d'identifier les forces et les faiblesses. Plus précisément, la gestion axée sur l'activité cherche les secteurs où une entreprise perd de l'argent afin que ces activités puissent être éliminées ou améliorées pour accroître la rentabilité. ABM analyse les coûts des employés, du matériel, des installations, de la distribution, des frais généraux et d'autres facteurs dans une entreprise pour déterminer et allouer les coûts d'activité.

[Armstrong, 2002] décrit la comptabilité par activités et la gestion par activités comme deux techniques qui représentent une extension importante de la comptabilité dans la société moderne. Il considère la méthode ABC qui est très pratique pour une fine analyse de la valeur. Ensuite, la méthode ABM est proposée comme complément de la méthode ABC et elle permettrait de manière récurrente de réduire et de piloter les coûts.

D'après plusieurs études, [Armstrong, 2002] confirme que la méthode ABM peut avoir des conséquences sur la façon dont les tâches du personnel sont effectivement réalisées.

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme

Selon [Kaplan Financial Knowledge Bank, 2012], il existe deux types de gestion par activités :

- ABM opérationnel ; elle utilise l'information d'ABC pour améliorer l'efficacité, les activités qui ajoutent de la valeur à un produit sont identifiées et améliorées, les activités qui n'ajoutent pas de valeur au produit peuvent être réduites pour réduire les coûts sans réduire la valeur du produit.

- ABM Stratégique ; elle utilise l'information ABC pour décider quels produits développer et quelles activités utiliser et utilise l'information d'ABC pour identifier les clients les plus rentables afin de se concentrer sur eux.

Pour un pilotage ABM des processus, il faut faire :

- 1- Une restructuration des activités conduisant à éliminer les processus et les activités sans valeur ajoutée
- 2- Une recherche de l'efficacité des activités porteuses de valeur ajoutée par un benchmarking qui consiste à chercher à acquérir le savoir-faire et la performance en se comparant à un meilleur choix parmi les concurrents.
- 3- Une action de réduction des coûts par identification de plans d'action qui doivent permettre de proposer autant de valeurs au client en consommant moins ou mieux les activités et donc en réduisant les ressources.

L'ABM semble en phase avec toutes les pratiques managériales apparues récemment telles que :

- 1- Le reengineering parce que ABM fournit une clé pour déterminer les activités porteuses de valeur ajoutée et celles qui ne le sont pas, elle vise aussi à simplifier les processus, en évitant les doublons d'activités => ce qui conduit nécessairement à la réduction des coûts.
- 2- La qualité totale parce qu'ABM permet l'analyse des dysfonctionnements et du repérage des points critiques d'une chaîne d'activités pour en analyser les causes.
- 3- Le juste à temps parce que ABM permet une meilleure lisibilité des processus et permet aussi d'éliminer au sein de la fonction productive les activités non créatrices de valeur ajoutée.

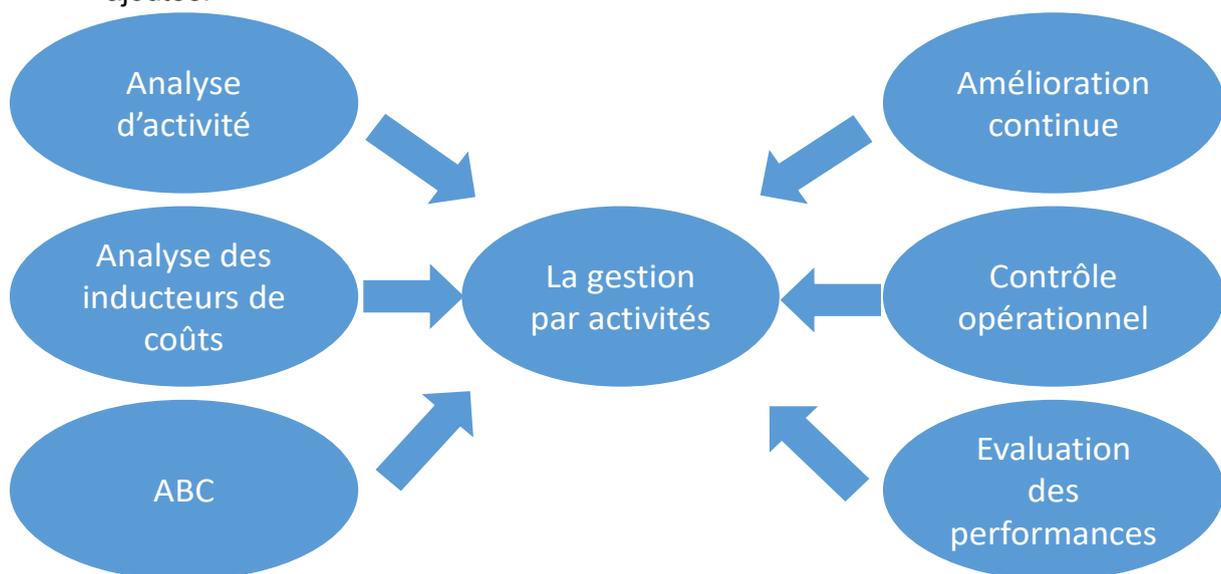


Figure 19: La gestion par activités adaptée de [Emerland, 2013]

L'ABC/M est utilisée comme aide décisionnelle pour estimer l'opportunité d'externaliser ou de sous-traiter une activité ou une prestation. Elle permet également de réorganiser les processus

(Reengineering). Selon [Turney and Peter, 1992], ABM et ABC sont faits l'un pour l'autre, ABC fournit l'information et ABM utilise ces informations dans diverses analyses conçues pour les décisions. Ces décisions incluent la tarification, l'approvisionnement de produits, les décisions de conception de produits et l'établissement de priorités pour les efforts d'amélioration.

Pour conclure cette section, construire un SIAD pour les chaînes logistiques hybrides intégrant à la fois une vue contrôle de gestion et une vue management des opérations nécessite :

- de s'intéresser aux approches combinant modèle de simulation (cf. chapitre 1) et le modèle de coût ;

- de s'intéresser aux méthodes de valorisation pour les processus hybrides.

- de s'intéresser aux approches couplant ABC, méthode de valorisation plébiscitée par la littérature en contexte logistique, avec la SED que nous présentons dans la section suivante.

3 COUPLAGE ABC - SED

Le premier paragraphe de cette section se focalise sur la grille de littérature sur le couplage ABC – SED dans le contexte d'une CLH. Une synthèse de cette revue de littérature sera présentée dans le deuxième paragraphe de cette section.

3.1 Couplage ABC et SED : Grille de lecture

Notre analyse mobilise des articles traitant du couplage entre la SED et la méthode ABC. Cette étude est basée sur un traitement de plusieurs articles qui décrivent ce couplage dont le but est d'explorer l'intégration de la notion de coût dans le modèle de simulation. Pour répondre à cette problématique, nous avons suivi une classification de la littérature relative à notre périmètre d'analyse. Cette classification reprend les approches retenues dans plusieurs articles qui traitent des problèmes concrets dans des chaînes logistiques réelles à l'aide de la simulation et le calcul de coût.

Un croisement entre les typologies (technique de simulation et modèle de coût) est ainsi synthétisé dans une grille (tableau 5) qui indique pour chaque travail scientifique :

- le type de problème traité et la nature de la CL
- le modèle de coût utilisé (ABC versus autre approche)
- le niveau de granularité (Ensemble de la CL versus une entité de la CL)
- le type de décision (stratégique / opérationnelle / tactique)
- la technique de simulation utilisée (SED, SH, DS)
- la nature de l'intégration entre ABC : soit il s'agit d'un usage d'ABC directement dans le logiciel de simulation réalisé par le renseignement des attributs soit les auteurs proposent le recours à un couplage entre SED et un modèle analytique ABC qui donne un spectre plus large d'information.

En conclusion de la revue de la littérature présentée dans le tableau 5, il ne semble pas exister :

- d'approche ABC centrée sur une évaluation des CLC ou des CLH
- de méthodes et de règles de modélisation permettant de mettre en place ABC avec SIAD orienté simulation pour la CLH
- de couplage explicite entre méthodes de simulation avec ABC pour la CL hybride / continue.

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme

Auteurs	Année	Type de problèmes	Nature de l'intégration	Niveau de granularité	Horizon décisionnel	Technique de simulation
Krishnamurthi et al.,	1990	Construction d'un modèle de simulation pour un atelier intégrant une valorisation des activités	Usage direct d'ABC	Atelier	Opér	SED
Williams, R., et al.,	1997	Évaluer les configurations d'organisations logistiques.	Usage direct d'ABC	Atelier	Opér / tact	SED
Baines et al.,	1998	Présentation des techniques de modélisation qui peuvent être utilisées pour évaluer les stratégies de production discrète.	Usage direct d'ABC	CL	Opér / Strat	SED
Spedding, et Sun,	1999	Utilisation combinée de la SED et de ABC pour évaluer des systèmes de production discrets	Couplage	Atelier	Opér	SED
Beck et Nowak	2000	Évaluation des processus de transfert dans l'usine et entre usine	Couplage	Usine	Tact	SED
Lee et Kao	2001	Pilotage de la marge dans un système logistique	Couplage	CL	Tact	SED
Savory et al	2001	Comment intégrer ABC dans la SED pour des systèmes discrets dans le cadre des opérations de production	Usage direct d'ABC	Atelier	Tact	SED
Chan et al..	2003	méthodologie pour résoudre les problèmes de rendement, de contrôle de processus, de gestion des coûts de système de production discret.	Usage direct d'ABC	CL	Opér / Strat	SED
Özbayrak et al	2004	Pilotage d'un atelier par les coûts à un horizon tactique	Couplage	Atelier	Tact	SED
Comelli, et al.,	2008	Approche pour évaluer les flux physiques et financiers lors de la planification de production tactique d'une chaîne logistique discrète	Couplage	CL	Tact	SED
Fenies et al.,	2010	Approche pour évaluer la nature d'un point de	Couplage	CL	Strat	SED

		vente en fonction de l'activité de la chaîne logistique				
Lange, J., et al.,	2012	Présentation d'une méthode pour la planification et l'évaluation des coûts des chaînes de processus discrets	Couplage	Atelier	Tact	SED
Mahal et Houssain	2015	Présentation de la méthode ABC et sa combinaison avec la SED dans le cadre d'une CLD.	Couplage	CL	Tact	SED

Tableau 5: Couplage ABC/Simulation

3.2 Couplage ABC et SED : Discussions.

La volonté de coupler SED et ABC est ancienne [Krishnamurthi et al., 1990], et a été explorée à plusieurs reprises dans la littérature depuis une vingtaine d'années. Selon [Williams et al., 1997], la sortie du modèle combiné « ABC – modèle de simulation » fournit une liste détaillée qui décompose les coûts pour chaque activité, et qui permet de considérer ces coûts comme un facteur décisionnel. L'avantage de la mise en œuvre d'un système ABC couplé avec la SED est de permettre l'amélioration de la prise de décision à partir des données améliorées. Pour [Sun et al., 1999], un logiciel de SED fournit un outil précieux pour le développement de la méthode ABC. Tout d'abord, pour l'exécution de la simulation à événements discrets, le modèle est basé sur un événement qui correspond au début ou à la fin d'une activité et permet donc de générer un coût associé à un inducteur. Ensuite, pour inclure ABC dans le modèle de simulation, le calcul du coût de chaque activité doit être inclus dans le modèle de simulation. [Beck & Nowak, 2000] ont essayé de coupler la SED avec la méthode ABC pour fournir un outil amélioré d'évaluation de coûts, de planification et de prévision. Dans le modèle de simulation, les éléments physiques circulent à travers la séquence des opérations de production et dans le modèle ABC, les coûts circulent à travers le modèle entraîné par les inducteurs d'activités définis relativement au modèle physique.

[Savory et al., 2001] estiment que peu d'attention est accordée pour évaluer l'impact économique d'une configuration productive par un modèle de simulation. Pour eux, ceci passe par une intégration de la méthode ABC dans le modèle de simulation. À la fin de la simulation, une liste détaillée est produite pour décrire tous les coûts associés à la production et aux opérations logistiques.

Selon [Lee et Kao, 2001], l'application de la technique de simulation dans le modèle ABC offre aux utilisateurs un moyen pour l'évaluation des facteurs de rentabilité de toutes les activités. En outre, en utilisant les résultats de simulation dans un modèle analytique ABC, les coûts des ressources allouées sont plus précis et l'attribution arbitraire est évitée (de manière relative par rapport à l'usage des attributs de coûts directement dans le logiciel de SED).

D'autres approches plus récentes se sont intéressées au couplage ABC / Simulation [Lange et al., 2012] et [Mahal et Houssain, 2015] mais la plupart des papiers scientifiques présentent des approches contextuelles à une CL et ne sont pas réutilisables.

Etant donné que la SED se prête à l'identification des inducteurs de coûts et donc à l'usage de ABC, notre objectif est de proposer une approche plus générale permettant de coupler ABC avec la SED en vue de construire un SIAD pour la CL hybride / continue. Dans ce contexte, au moins trois approches existent dans la littérature :

- Toronto Virtual Entreprise (TOVE) : Selon [Gelbukh, 2014], TOVE propose un processus basé sur un scénario pour décrire la fonctionnalité de l'ontologie. Les étapes de cette méthodologie sont six : 1) Identifier les scénarios pertinents; 2) Développer des questions pertinentes dans un langage naturel informel ; 3) Définir la terminologie de l'ontologie; 4) Développer des questions pertinentes formellement; 5) Indiquer les théorèmes; et 6) Évaluer l'ontologie. Les points clés de cette méthodologie sont : identifier les requêtes, les objets et les prédicats dans l'ontologie. Selon [Fenies, 2006], TOVE est une démarche de modélisation structurée pour la prise en compte d'une évaluation ABC des activités qui a été implantée dans des ERP. Elle représente une méthodologie, pour laquelle une ontologie des modèles de valorisation présente un intérêt évident pour notre approche de modélisation et d'évaluation de performances ; les propos de [Tham, 1999] constatant l'absence d'intégration des méthodes de valorisation (modèles de coûts) dans la modélisation d'entreprise, proposent une extension de TOVE sous forme d'ontologie des coûts pour l'entreprise qui permet de concevoir des environnements de modélisation qui prennent en compte la performance sous la forme de modèles ABC. Cependant, TOVE est complètement orientée "mise en place de système de valorisation et système d'information" et ignore complètement une orientation "Recherche Opérationnelle" dans les phases de recueil et de formalisation de la connaissance ; les modèles conceptuels proposés dans les différents travaux de la méthodologie TOVE proposent une structuration de la connaissance recueillie qui est principalement orientée pour la mise en place de systèmes ABC, et de systèmes d'information pour les ERP, de plus, une des faiblesses de l'approche TOVE réside dans la séparation des flux qui rend plus difficile l'utilisation de la méthodologie pour l'aide à la décision. Selon [Gruninger et al, 2000], l'objectif de TOVE a été la création d'un ensemble intégré d'ontologies pour soutenir la modélisation d'entreprise. Cela consiste en un ensemble d'ontologies fondamentales, y compris une ontologie de l'activité qui couvre l'activité, l'état, le temps et la causalité [Fox et Gruninger, 1994], une ontologie de ressources [Fadel et al., 1994], une ontologie d'organisation couvrant la structure, les rôles, et de la communication [Gruninger et Fox et al., 1995], et une ontologie de produits qui inclut des fonctionnalités, des paramètres, des assemblages, les versions et révisions [Baid, 1994], [Lin et al., 1996]. Il comprend également un ensemble d'extensions à ces ontologies fondamentales pour couvrir des concepts tels que le coût et la qualité. Dans [Gruninger et Fox, 1995], l'objectif de TOVE est de créer la prochaine génération « modèle d'entreprise », un modèle d'entreprise de bon sens. Par le bon sens, nous voulons dire qu'un modèle d'entreprise a la capacité de déduire des réponses aux questions qui exigent des connaissances relativement peu profondes du domaine. La principale composante de l'ontologie est sa terminologie pour les classes de processus et des relations pour les processus et les ressources, ainsi que des définitions de ces classes et des relations. De plus, le langage de l'ontologie est un ensemble de symboles (lexique) et une spécification de la façon dont ces symboles peuvent être combinés pour faire des formules bien formées (grammaire / syntaxe). Pour [Fox, 1992], l'objectif de Tove est

quadruple: 1) créer une représentation partagée de l'entreprise que chaque agent dans l'entreprise peut conjointement comprendre et utiliser, 2) définir la signification de chaque description, 3) mettre en œuvre la sémantique dans un ensemble de axiomes qui permettront Tove de déduire automatiquement la réponse à beaucoup de questions sur l'entreprise, et 4) définir une symbologie pour représenter un concept dans un contexte graphique.

- Integrated Multidimensional Process Improvement Methodology (INPIM): INPIM peut être utilisé pour concevoir une configuration optimale d'une carte de contrôle avec une plus grande productivité, un meilleur contrôle des processus et à moindre coût. Selon [Chan et Spedding, 2003] INPIM est un environnement prenant en compte les critères de performance issus d'une modélisation à base d'activités dans les modèles de simulation. Les composants méthodologiques de l'environnement sont génériques relativement à un horizon de court terme. Dans ce type de modélisation, les consommations de ressources directes ne sont pas prises en compte dans la modélisation. Cette approche est pertinente à un niveau de granularité très fin pour un horizon décisionnel opérationnel. Cependant, l'environnement ne se prête pas à une extension sur des modèles décisionnels tactiques ou stratégiques. Dans cette approche, il ne s'agit pas d'une évaluation des coûts ABC, mais uniquement des consommations physiques des inducteurs.
- Process EVALuation (PREVA) [Fenies, 2006] : PREVA cherche à expliquer la formation de la valeur financière en fonction des flux physique du processus logistique dans une SC, ou pour tout système contenu dans cette dernière. Le couplage de PREVA avec des modèles de simulation, ou son utilisation pour concevoir des modèles d'optimisation génère des modèles qui évaluent ou optimisent le processus logistique de la SC sur plusieurs horizons décisionnels et plusieurs niveaux de modélisation. Cette approche évalue les flux financiers du processus logistique à l'aide d'un modèle analytique chaîné avec un modèle d'action (modèles informatiques d'optimisation ou de simulation) pour l'évaluation ou l'optimisation des flux physiques. Cette approche permet de traduire tout planning pour la SC en budget financier pour tout niveau de granularité et tout horizon décisionnel. Elle permet soit d'évaluer différents scénarios organisationnels proposés par des modèles d'actions mathématiques ou issus d'un couplage, soit d'être utilisée pour construire des modèles d'action intégrant des contraintes du flux financier. Cette approche couple un modèle analytique qui évalue la création de valeur financière du processus logistique avec un modèle d'action permettant l'évaluation ou l'optimisation du fonctionnement du flux physique du processus logistique. Elle est utilisable quel que soit le niveau de granularité ou l'horizon décisionnel, et constitue en ce sens une première réponse à l'intégration de méthodes pour l'évaluation du flux financier dans les outils d'aide à la décision pour le SCM. L'approche PREVA permet ainsi la constitution de modèles d'action (modèles informatique) dont les objectifs sont centrés sur la création de valeur. Cette approche permet d'évaluer les flux financiers, les coûts et les marge. L'évaluation se fait en trois étapes :
 - Étape 1 : évaluation du processus physique, les modèles d'action fournissent des données physiques sur le flux physique. A partir de ces données, une évaluation globale est construite.

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme

- Étape 2 : évaluation ABC, cette approche générique doit être en mesure de déterminer grâce à l'évaluation des coûts de processus, la consommation des coûts indirects.
- Étape 3 : évaluation du processus financier, grâce à l'évaluation ABC, la consommation directe et indirecte des ressources et des ventes nettes sont déterminées. En raison de la nature du coût (le coût calculé et le coût réel) et en raison de la durée de paiement qui est différent entre chaque type de ressources et chaque type de clients, il y a une différence, à moyen terme, ou à court terme entre le niveau de bénéfice et les flux de trésorerie de la même période. Par conséquent, les périodes précédentes ont un impact sur la période réelle dans l'évaluation des flux de trésorerie. Cette approche propose d'intégrer les flux de trésorerie grâce à l'évaluation de la consommation des ressources dans ABC.

Les tableaux 6, 7, 8 présentent les points forts et les points faibles de chaque approche.

Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none"> • Démarche de modélisation structurée pour la prise en compte d'une évaluation ABC des activités qui a été implantée dans des ERP 	<ul style="list-style-type: none"> • L'environnement est centré système d'information, pas évaluation de performances • Simulation et optimisation ne sont pas utilisées dans l'environnement • Le modèle ABC est implanté, mais son évaluation ne combine pas une évaluation poussée du flux physique • Les unités de flux financier ne sont pas prises en compte • Cette approche est utilisée exclusivement dans industries discrètes

Tableau 6: Les points forts et faibles de TOVE

Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none"> • Environnement prenant en comptes les critères de performance issus d'une modélisation à base d'activité dans les modèles de simulation • Les composants méthodologiques de l'environnement sont génériques relativement à un horizon de court terme • Une couche « base de données » permettant l'interfaçage avec le 	<ul style="list-style-type: none"> • Il ne s'agit pas d'une évaluation des coûts ABC, mais uniquement des consommations physiques des inducteurs • Les consommations de ressources directes ne sont pas prises en compte dans la modélisation • L'approche objet n'est pas implantée, les composants logiciels ne sont pas génériques

<p>système d'information est proposée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'approche est pertinente à un niveau de granularité très fin pour un horizon décisionnel opérationnel • L'environnement ne se prête pas à une extension sur des modèles décisionnels tactiques ou stratégiques • Cette approche est utilisée exclusivement dans industries discrètes
--	---

Tableau 7: Les points forts et faibles d'INPIM

Points forts	Points faibles
<ul style="list-style-type: none"> • PREVA modélise et explique la formation de la valeur financière en fonction des flux physique du processus logistique dans une SC • Cette approche évalue les flux financiers du processus logistique • Elle est utilisable quel que soit le niveau de granularité ou l'horizon décisionnel • Cette approche est intégrée dans un environnement de modélisation ASCI SC dédié à la chaîne logistique 	<ul style="list-style-type: none"> • Cette approche est utilisée exclusivement dans industries discrètes • Cette approche n'a pas été validée au niveau opérationnel d'un point de vue empirique.

Tableau 8: Les points forts et faibles de PREVA

La limite de la SED se manifeste au niveau d'informations fournies sur les coûts. Pour évaluer les coûts associés aux opérations, et l'influence de la diversité de scénarios de gestion, les coûts variables directs doivent pouvoir être évaluables. Dans de nombreux simulateurs (Simul8, Arena...), chaque processeur intègre la possibilité d'un calcul d'un coût variable direct (proportionnel donc au nombre d'items transitant par ce processeur) et un coût de lancement paramétré (changement de référence, d'OF...). La question qui semble se poser alors est la pertinence de la modélisation, c'est-à-dire les processeurs retenus permettent-ils tous de représenter les inducteurs ? Deux manières de répondre à cet enjeu sont proposées dans la littérature :

- soit des règles de modélisations permettent de construire directement le modèle de valorisation associant des coûts variables directs par lot et par inducteur est possible, cf TOVE et INPIM ; [Lange et al., 2012].
- soit un couplage entre modèle de simulation et modèle analytique ABC est réalisé [Comelli et al., 2008], [Fenies et al., 2010], permettant alors d'autres combinaisons de

valorisation (pilotage par la marge, analyse de la valeur créée...) et facilitant potentiellement la construction d'images hypercubes dans des tableaux de bord.

4 STRUCTURATION DE L'INFORMATION SOUS LA FORME D'UN TABLEAU DE BORD DE LA SUPPLY CHAIN POUR L'AIDE A LA DECISION

Cette section présente un résumé pour le profane permettant d'imaginer la construction d'un tableau de bord décisionnel à partir d'un SIAD pour le SCC. Le premier paragraphe de cette section présente la méthode de construction du tableau de bord, suivi par ses fonctions. Les notions de cohérence spatiale et temporelle sont détaillées en annexe 4.

4.1 Construction d'un tableau de bord

De nombreux auteurs ont proposé de concevoir un tableau de bord SCM à partir de l'approche de Kaplan et Norton. En effet, cette approche de conception d'un système de performance est devenue le standard : tous les systèmes conçus depuis 1992 se positionnent par rapport à l'approche de Kaplan, [Edvinsson et Malone, 1997 ; Epstein et Manzoni, 1998].

Selon les auteurs du SCC [Lalonde et Pohlen, 1996], le tableau de bord est considéré comme le moyen de structurer l'évaluation de la performance réalisée pour le SCM. Selon [Bouquin, 2008], le tableau de bord se définit comme un instrument d'action où un ensemble d'indicateurs peu nombreux (5 à 10) et il permet aux gestionnaires de prendre connaissance de l'état et de l'évolution des systèmes qu'ils pilotent et d'identifier les tendances qui les influenceront. Un système d'indicateurs de performance doit permettre d'assurer la liaison entre les différents niveaux de décision et les différents horizons de gestion. Il est une traduction chiffrée des objectifs du système étudié et il montre si les facteurs clés de succès [Porter, 1986] sont atteints. Il doit permettre de créer une dynamique de progrès [Gallois, 1996] pour permettre au système étudié de perdurer. Il est un des éléments essentiels de la traduction et du suivi de la stratégie dans l'organisation. Le système d'évaluation de la performance se définit par rapport aux buts et objectifs recherchés par l'organisation. Selon [Heerarum, 2003], le système d'évaluation des performances de la SC calque la chaîne de valeur modélisée et suit plus particulièrement les activités créatrices de valeur.

Selon [Morana, 2002], seules deux représentations de tableaux de bords... sont en réelle adéquation et pertinence avec le SCM : le tableau de bord de Kaplan et Norton et le navigateur de Skandia [Edvinsson et Malone, 1997]. Le cadre conceptuel proposé par ces deux outils permet d'appréhender globalement plusieurs domaines d'évaluation : un domaine financier, un domaine clients, un domaine processus, un domaine apprentissage organisationnel et innovation.

Selon [Kaplan et Norton, 1992], le processus de construction des systèmes d'indicateurs de performance devrait suivre une trame constituée de 4 étapes :

- Définition des objectifs et de la stratégie du système évalué ;
- Recherche des facteurs clés de succès sur les processus et des activités dont on doit améliorer la performance dans le cadre des objectifs fixés ;
- Recensement des facteurs qui influent sur la performance de l'activité et définition d'un plan d'action et de moyens d'action ;
- Définition des indicateurs et structuration sous la forme de tableaux de bord.

[Coatannoan et Talec, 2000] définissent un tableau de bord comme un regroupement d'indicateurs sélectionnés pour représenter synthétiquement l'activité. Un outil de synthèse qui permet de visualiser les évolutions d'un indicateur et de déclencher des actions correctives.

La présentation des tableaux de bord doit être lisible et interprétable, avec une périodicité régulière, adaptée aux besoins de gestion. Cette représentation doit être adaptée aux utilisateurs, à la nature de l'information, et à l'évolution de l'information.

Les indicateurs du tableau de bord sont classés par catégorie et en fonction de leur importance par rapport à la situation à suivre. La périodicité du tableau de bord est également à définir ; l'interprétation des mesures des indicateurs doit permettre de remédier rapidement aux dysfonctionnements. Selon la nature de l'information, les indicateurs sont présentés sous forme numérique, graphique, avec ou sans commentaire, avec ou sans l'historique et à l'évolution dans le temps. La présentation des indicateurs doit faciliter l'interprétation du tableau de bord.

Selon [Voyer, 1999], un tableau de bord de gestion est une façon de sélectionner, d'agencer et de présenter les indicateurs essentiels et pertinents, de façon sommaire et ciblée, en général sous forme de coup d'œil accompagné de reportage ventilé ou synoptique, fournissant à la fois une vision globale et la possibilité de forer dans les niveaux de détail.

Le tableau de bord mise principalement sur la qualité de l'information et non sur la quantité. Il met en évidence les résultats significatifs, les exceptions, les écarts et les tendances ; il fournit à son utilisateur un modèle cohérent en regroupant les indicateurs de façon à frapper son imagination. Un tableau de bord offre donc une vue d'ensemble, avec plus de détails.

Selon [Giard et al, 1995], un tableau de bord de gestion est une liste d'indicateurs destinés à soutenir un jugement sur le fonctionnement d'un centre de responsabilité. Les approches de type Kaizen mettent l'accent sur la distinction entre indicateurs de type R, qui tournent autour de la rentabilité financière immédiate, et ceux de type P, qui tournent autour de l'amélioration des processus qui conditionne la rentabilité du long terme. Au niveau de centres de responsabilité élémentaires, ce sont plutôt des indicateurs de type P que l'on trouvera dans les tableaux de bord, parce que le pilotage s'effectue davantage sur des bases physiques. Il est facile, au cours d'une simulation, de générer des variables d'état correspondant aux indicateurs physiques utilisés dans un tableau de bord et de larges possibilités existent pour la plupart des indicateurs en valeur.

Pour [Fernandez, 1999], les bénéfices des tableaux de bord sont nombreux : gérer, contrôler, anticiper. Un tableau de bord est le système d'information qui permet au décideur de :

- Piloter l'organisation ;
- Etre informé ;
- Identifier les tendances, les évolutions ;
- Mesurer l'atteinte des objectifs ;
- Analyser les écarts ;
- Communiquer avec l'ensemble de l'organisation ;
- Responsabiliser tous les acteurs sur la base d'objectifs clairs ;
- Développer des axes de progrès et s'améliorer ;

Un tableau de bord efficace global doit intégrer des indicateurs de type suivant :

- Opérationnels qui caractérisent l'activité et la performance des métiers ;
- Financiers qui concernent les ressources mais aussi la valeur générée ;
- Humains pour les compétences ;

Chapitre 2 : Etude du problème : la valorisation des processus hybrides à court et moyen terme

- Organisationnels définissant les rôles et responsabilités internes et externes ;
- Capital informatique ou informationnel : infrastructures matérielles, réseau, postes de travail, téléphones portables, imprimantes, copieurs, etc ;
- Applications système, monitoring, antivirus, bureautiques.

Selon [Fernandez, 1999], Le tableau de bord est un outil assurant pour le décideur qui permet la perception d'une situation à un instant donné. Un tableau de bord doit offrir une vision cohérente du système à piloter en fonction des objectifs fixés. La capacité du tableau de bord à mesurer l'effort accompli et l'effort à accomplir garantit pour l'équipe une mesure fiable de performances. Le tableau de bord joue un rôle préventif en indiquant des dépassements de seuils ou tout autre type d'alarmes.

Lors d'une prise de décision, le tableau de bord joue un rôle important en présentant une vision commune de la situation pour l'ensemble de décideurs partageant une même problématique. Il facilite la communication et l'échange avec les autres acteurs de l'entreprise. Chacun peut partager sa perception et son interprétation de la situation donnée avec ses partenaires. Le tableau de bord s'intègre bien dans un concept plus large de communication et de partage de connaissance.

4.2 Les fonctions d'un tableau de bord

Le tableau de bord de gestion permet de suivre le fonctionnement de l'organisation de façon dynamique et régulière tout en donnant un feedback permanent.

Le tableau de bord permet, de façon régulière, de mesurer, de cerner, de suivre les clientèles, l'état et l'utilisation des ressources (humaines, financières, matérielles et informationnelles), le déroulement des activités et le fonctionnement de l'organisation, les résultats obtenus et leur progression de même que les paramètres pertinents de l'environnement. Selon [Fernandez, 2008], un tableau de bord permet de :

- Faciliter la communication

Le tableau de bord est un référentiel commun pour des échanges constructifs. Il facilite la communication et l'échange avec les autres acteurs de l'entreprise. Chacun peut partager sa perception et son interprétation de la situation donnée avec ses partenaires.

- Maitriser le risque

Le tableau de bord joue un rôle préventif en indiquant des dépassements de seuils ou tout autre type d'alarmes, donc il contribue à une prise de risque réfléchie. Toute décision est une prise de risque. On ne peut envisager à priori avec certitude les conséquences de la décision. Celle-ci comporte une part plus ou moins importante de risques. En facilitant la prise en compte du contexte de la décision, le tableau de bord contribue quelque part à mieux apprécier la valeur et la portée du risque de la décision.

- Faire un reporting et mesurer la performance

L'information consolidée et présentée sous forme de tableaux de bord répond particulièrement bien aux besoins de reporting de gestion. De plus, un système rigoureux d'indicateurs permet d'améliorer la mesure de la performance et rend plus crédibles les évaluations qui en sont tirées.

- Avertir les décideurs

Le tableau de bord permet aussi de faire ressortir les tendances et les écarts significatifs ou exceptionnels, et d'avertir le gestionnaire de tout résultat ou écart indésirable, à la manière d'un système d'alarme.

4.3 Cohérence spatiale et temporelle des tableaux de bord (Annexe 4)

L'un des problèmes récurrents posé dans la construction des tableaux de bord est celui de la cohérence des tableaux de bord dans le temps et dans l'espace ; l'annexe 4, inspirée de [Giard et al, 1996], présente les enjeux et la dimension toujours actuelle de la cohérence spatiale et temporelle dans le contexte de la construction d'un SIAD.

5 CONCLUSION

Une des limites dans l'évaluation des processus proposée par les auteurs du SCC est qu'un modèle ABC de la Supply Chain dans son ensemble permet d'évaluer les coûts et la valeur créée entre les compagnies composant la Supply Chain, mais pas à l'intérieur d'une entité de la Supply chain. De même, si la Supply Chain est une Supply Chain interne, le modèle de Seuring est partiellement inopérant. [Mehafdi, 2002] ; [Fenies, 2006] proposent de solutionner ce problème en recourant classiquement à la modélisation de la Supply Chain interne sous la forme d'une succession de Business Unit et en valorisant les unités de flux physiques entre les entités de la Supply Chain à l'aide de la mécanique des prix de cession.

Dans la revue de la littérature détaillée dans la section 3, il ne semble pas exister :

- d'approche ABC centrée sur une évaluation des CLC ou des CLH ;
- de méthodes et de règles de modélisation permettant de mettre en place ABC avec un SIAD orienté simulation pour la CLH ;
- de couplage explicite entre méthodes de simulation avec ABC pour la CL hybride / continue.

Etant donné que les approches de modélisation ABC sont centrées sur une évaluation d'une CLD, donc, un couplage ABC / Simulation permettra de mettre en œuvre un SIAD évaluant à la fois les flux physiques et les flux financiers de la CLH. Nous avons également montré que la spécificité de la CLH nécessite une approche différente de celle utilisée habituellement dans le cadre de la mise en œuvre des couplages entre ABC et la simulation car la spécificité des processus continus empêche d'utiliser des approches classiques. La figure 20 présente la manière intuitive dont nous concevons a priori le couplage entre simulation et ABC pour l'évaluation des processus logistiques hybrides.

De plus, nous avons l'intuition que la désynchronisation des processus continus / discrets dans la CLH constituerait un point de définition des inducteurs de coûts ABC et des leviers d'action associés pour le management de la CLH.

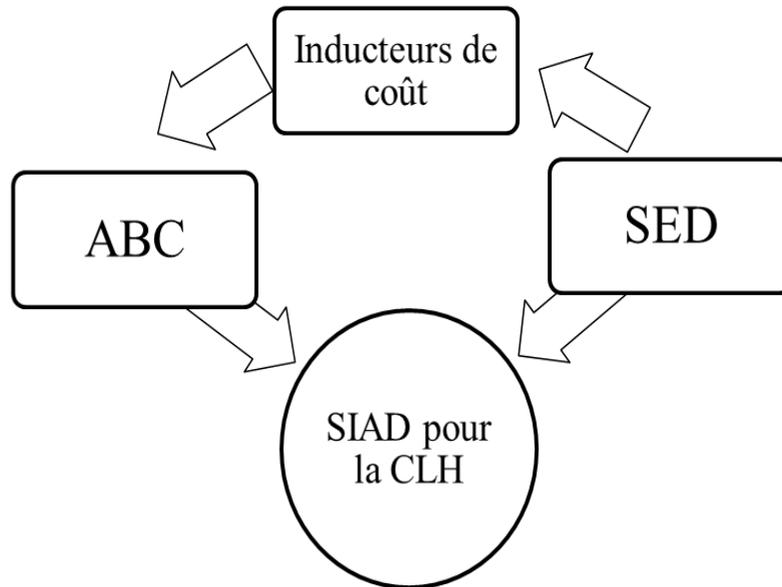


Figure 20: Couplage ABC – SED

Notre objectif est de construire un SIAD couplant ABC avec SED pour la CLH. Dans ce contexte, nous avons choisi de mobiliser l'approche PREVA qui n'a pas été utilisée ni au niveau opérationnelle ni pour les systèmes de productions hybrides et de l'étendre dans un contexte nouveau (les processus hybrides) et pour un niveau décisionnel différent (niveau opérationnel) de celui pour lequel elle a été créée (niveau tactique).

La mise en œuvre de l'approche proposée sur la CLH de l'OCP SA constitue un programme de recherche qui permettra de valider :

- la construction de couplage entre la SED et ABC pour la CLH ;
- la construction d'un modèle ABC dédié à la CLH permettant d'évaluer le flux physique d'une CLH ;
- la construction de règles de traduction pour la discrétisation de flux continu et permettant le passage d'un système de valorisation d'entité fonctionnelle ayant une granularité et un horizon figé à un système de contrôle de gestion pour entité processuelle ayant une granularité et un horizon modulable.

Pour ce faire, nous avons besoin d'évaluer les performances du flux physique par la simulation et évaluer les performances du flux financier par la valorisation des processus.

L'objet du chapitre 3 est de détailler l'approche utilisable pour construire le SIAD dans le contexte de la CLH, et dans le chapitre 4, nous allons présenter la mise en œuvre de cette approche dans le contexte de plusieurs processus hybrides de Maroc Phosphore.

Chapitre 3 : Une approche pour la valorisation des processus logistiques hybrides

Table des matières

1	Une méthodologie pour la valorisation des processus logistiques hybrides.....	74
2	Analyse et Specification de la connaissance à l'aide d'une approche multiple et incrémentielle pour les processus hybrides	78
2.1	Approche Multiple et incrémentielle pour les processus hybrides	78
2.2	Spécification des flux et de la connaissance sur la CLH à l'aide d'une approche métier et objet.....	79
2.3	Spécification des flux physiques pour les processus hybrides.....	84
2.4	Règles de simplification utilisées dans la modélisation.....	92
3	Conception et implantation pour la valorisation des processus hybrides.....	93
3.3.1	Evaluation du flux physique	99
3.3.2	Evaluation du flux financier.....	99
3.3.3	Structuration de l'information sous la forme d'un tableau de bord	99
4	Extension du concept d'advanced budgeting system (ABS) pour les Chaines Logistiques Hybrides	102
4.1	L'environnement de modélisation ASCI-CLH.....	103
4.2	Les caractéristiques d'une suite logicielle de type Advanced Budgeting System (ABS)	104
5	Conclusion.....	108

Nous voulons concevoir un environnement de modélisation permettant le couplage de la simulation et du contrôle de gestion dans les suites logicielles d'aide à la décision pour la CLH. Cet environnement ne peut être créé et fonctionner que s'il a un mode d'emploi rédigé sous la forme d'une méthodologie de modélisation. Dès lors, le premier objectif de ce chapitre est de présenter une méthodologie de modélisation permettant de structurer la démarche de couplage que nous proposons. Les travaux méthodologiques réalisés sur les systèmes complexes par l'équipe Modélisation et Aide à la Décision du LIMOS vont être repris et étendus. En effet, la démarche ASCI (Analyse, Spécification Conception Implémentation) [Gourgand et Kellert, 1991] permet de concevoir une méthodologie de modélisation d'une classe de systèmes, le modèle générique de connaissance de cette classe, et de réaliser une bibliothèque (ou base) de composants logiciels qui est exploitée pour générer un modèle d'action (programme informatique) pour un système de la classe. Cette démarche a été construite à la suite de nombreuses études concernant la modélisation et l'évaluation des systèmes complexes comme les systèmes logistiques industriels, [Tchernev, 1997 ; Lacomme, 1998 ; Goujon, 1998 ; Grangeon, 2001 ; Boutevin, 2003 ; Cossard, 2004 ; Norre, 2005, Fenies, 2006...] les systèmes de transport [Sarramia 2002], ou les systèmes hospitaliers [Combes, 1994].

Au fur et à mesure de l'apparition de nouveaux outils, de nouveaux concepts, et de la mise en œuvre de la méthodologie ASCI à un grand nombre de systèmes complexes et de domaines différents, la démarche en tant qu'objet de recherche a été enrichie.

La première partie de ce chapitre portera sur ce composant méthodologique ASCI et montrera comment il nous sert pour structurer notre travail, tandis que les parties suivantes traiteront de sa mise en œuvre pour produire une méthodologie de modélisation pour l'aide à la décision pour la chaîne logistique hybride permettant le couplage de la simulation avec des modèles de valorisation ABC issus du Supply Chain Costing. Les concepts et la démarche proposés prennent leur dimension actionnable dans le chapitre 4 qui présentera la mise en œuvre de notre démarche sur la chaîne logistique de Maroc Phosphore avec comme résultante la construction d'un ABS [Fenies et Tchernev, 2012] dédié au pilotage opérationnel des ateliers d'engrais de cette structure.

Les points développés dans ce chapitre 3 comme dans le chapitre 4 ont été publiés dans une version courte dans [Retmi et al., 2016., a, b] (ILS et RIRL...) et sont à ce jour en processus navette dans la revue Supply Chain Forum.

1 UNE METHODOLOGIE POUR LA VALORISATION DES PROCESSUS LOGISTIQUES HYBRIDES

Cette section résume l'approche proposée par [Fenies, 2006] dont l'un des objectifs était d'étendre la démarche ASCI sur la CL. La complexité des problèmes traités dans les organisations humaines suppose qu'informaticiens et gestionnaires puissent dialoguer, d'un point de vue académique comme dans l'entreprise, de manière à concevoir concepts, savoirs et savoir-faire pour l'aide à la décision. Le composant méthodologique ASCI constitue à cet effet un schéma directeur par lequel chacun arrive à travailler de manière individuelle comme collective dans le cadre d'un projet de recherche sur l'aide à la décision.

[Fenies, 2006] définit le composant méthodologique ASCI comme un méta-modèle méthodologique permettant de concevoir des objets de recherche pour l'aide à la décision. La mise en œuvre de ce méta-modèle par la sélection d'un positionnement épistémologique

conjuguée avec une ou plusieurs méthodes et approches de modélisation permet de caractériser une méthodologie de modélisation.

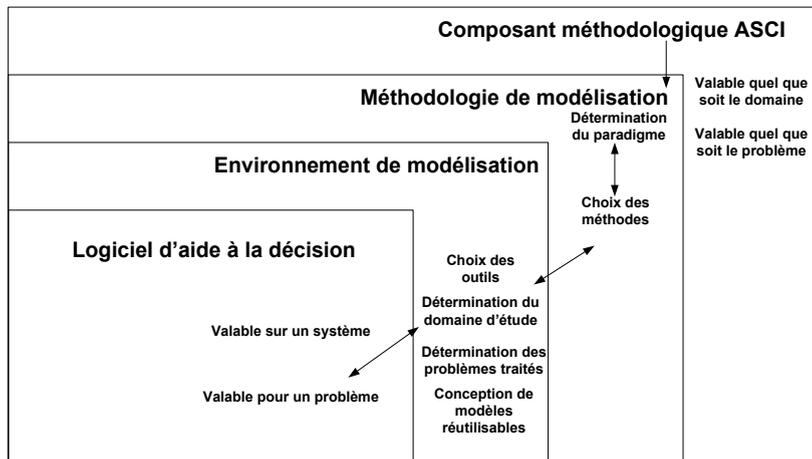


Figure 21: Du composant méthodologique ASCI au logiciel d'aide à la décision pour un système complexe

Lors d'un projet de recherche, nous supposons que le composant méthodologique ASCI est utilisé par l'ensemble des équipes de recherche travaillant sur le projet de recherche. Ce composant est une trame qui permet à l'équipe de chercheurs, experts en modélisation, de positionner leurs travaux (travaux dédiés à un système donné, ou inversement travaux valides pour l'ensemble du domaine) et d'organiser d'un point de vue méthodologique un programme de recherche sur les modèles et outils d'aide à la décision pour le domaine étudié. La démarche ASCI propose une démarche générique (indépendante du domaine étudié) qui à l'aide d'un enchaînement de tâches permet de constituer le modèle générique de connaissance (obtenu pendant les étapes d'analyse et de spécification entre les similitudes entre les systèmes appartenant au domaine [Sarramia, 2002]) de cette classe de système et de réaliser la bibliothèque de composants logiciels pour une famille de problèmes pendant les phases de conception et d'implantation. Ainsi, dans ASCI :

- Les phases d'analyse et de spécification sur le domaine expliquent comment formaliser et modéliser de manière général pour le domaine (dans notre cas le domaine des chaînes logistiques hybrides) ; le résultat de cette phase est un modèle de connaissance générique valable pour tout système de la classe ;
- Les phases de conception et d'implantation expliquent comment, on va pouvoir produire des briques logicielles pour l'aide à la décision (dans notre cas, comment nous allons pouvoir coupler des modèles contenant approche de simulation et valorisation des processus).

Le modèle de connaissance générique pour une classe de système (un domaine) se décompose en trois sous-systèmes :

- le Sous-Système Physique (SSP) qui est constitué de l'infrastructure du système ;
- le Sous-Système Logique (SSL) qui représente toutes les entités de flux (financiers, humains, matériels) ;
- le Sous-Système Décisionnel (SSD) qui contient les règles de gestion et de pilotage des moyens physiques et agit sur le sous-système logique et le sous-système physique (règles de gestion, d'attribution des ressources, d'attribution des moyens de

transport...) pour assurer la gestion et la maîtrise des processus afin de satisfaire les objectifs du système.

La bibliothèque de composants et le modèle de connaissance générique sont ensuite exploités par exemple pour la construction d'un outil d'aide à la décision pour un système particulier de cette classe de systèmes. A partir de cette démarche méthodologique, la construction et l'exploitation du modèle de connaissance d'un système spécifique et de modèles d'action (programmes informatiques dédiés au système) dans un contexte d'aide à la conception et à la décision, sont appelées processus de modélisation.

Dans l'étude du domaine effectuée au chapitre 1, nous avons montré qu'une CLH est composé de processus logistiques hybrides. Sachant qu'un processus est composé par un nombre fini d'activités, et que chaque activité, à un niveau de granularité plus fin, peut-elle même être considérée comme un processus, l'évaluation d'un processus comme d'un ensemble de processus devient l'élément central pour évaluer la performance d'un système complexe.

L'état de l'art développé au chapitre 2 a montré les points importants concernant les problèmes d'évaluation, et les limites des méthodes et outils actuels. Ainsi, pour de nombreuses organisations humaines, la conception et l'implantation d'outils d'aide à la décision sera une des clefs pour la compétitivité. Compte tenu de la complexité des objets contenant des processus d'entreprise (entreprise, réseau d'entreprises, département d'entreprise...) et de leur dimension humaine et non mécaniste, la conception comme la construction d'objets de recherche pour l'aide à la décision nécessite, pour l'informaticien et pour l'ingénieur, d'intégrer dans le processus de modélisation des concepts d'autres domaines scientifiques et notamment des Sciences Humaines et Sociales.

Nous proposons une méthodologie de modélisation construite à partir du composant méthodologique ASCI. Cette méthodologie doit, tout en permettant la collaboration d'experts en modélisation de domaines scientifiques différents, permettre de concevoir des objets de recherche intégrant la dimension contrôle de gestion pour l'aide à la décision sur les processus hybrides.

Dans le cadre de la chaire d'optimisation industrielle, l'évaluation d'un système doit être réalisable aussi bien pour la configuration ou le pilotage de processus d'entreprise dans le cadre de l'aide à la décision, tactique ou opérationnelle.

La figure 22 présente l'instanciation du composant méthodologique ASCI pour produire cette méthodologie de modélisation. Ainsi, la partie de gauche présente la phase de modélisation du domaine tandis que la partie de droite présente le processus de modélisation d'un système du domaine. Les autres sections de ce chapitre présentent les concepts valables sur le domaine des chaînes logistiques hybrides tandis que le chapitre 4 présentera le résultat de la mise en œuvre de notre démarche sur le système réel constitué par la CLH de Maroc Phosphore.

Cette méthodologie de modélisation que nous utilisons dans le contexte de notre projet de recherche pour structurer les apports de notre démarche correspond à la méthodologie de modélisation par processus multiples et incrémentielles proposée par [Fenies, 2006] et sur ce point, notre thèse ne propose pas d'apport méthodologique mais montre la robustesse de l'approche par son usage sur des processus hybrides alors qu'elle n'était que dédiée à des processus discrets.

La méthodologie préconise la construction d'un modèle générique de connaissance qui intègre une vue processus pour le domaine étudié. La méthodologie se caractérise par l'utilisation à toutes les étapes, des langages de modélisation UML et d'ARIS. Pour plus de détail sur l'usage

combiné de ces deux formalismes dans le contexte de la CL, le lecteur se référera à [Fenies et al., 2006]. L'utilisation des formalismes ARIS et UML facilite le contrôle et la validation des différentes étapes du processus de modélisation d'un système du domaine par les acteurs du système modélisé. Le recours à ARIS s'explique par la logique métier (les processus hybrides) tandis que le recours à UML s'explique par la volonté d'avoir une approche orientée objet pour faciliter la traduction des recueils de connaissance en brique logicielle.

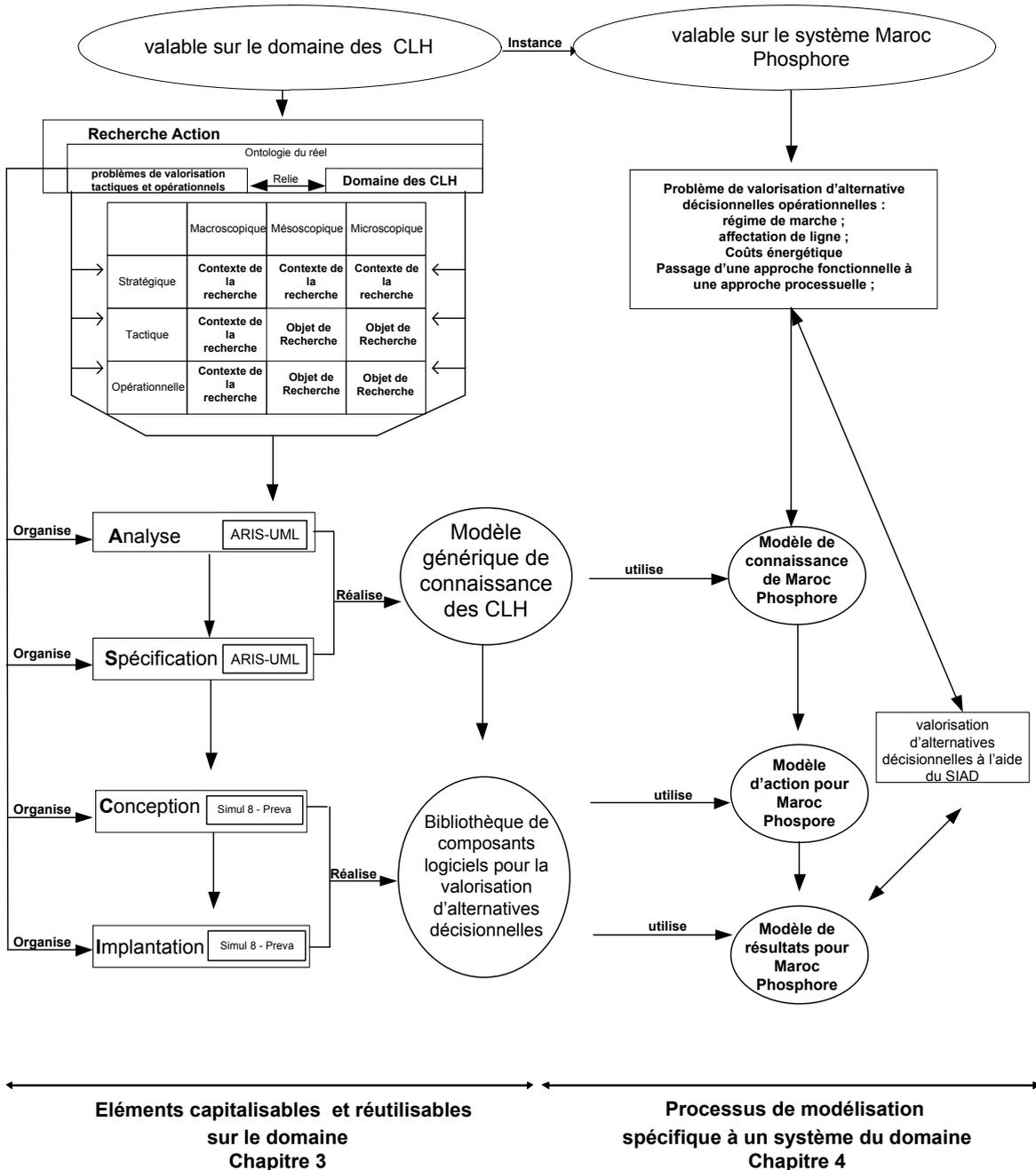


Figure 22: Instanciation du Composant méthodologique ASCI pour la méthodologie par processus multiples et incrémentiels dans le contexte de notre projet de recherche

2 ANALYSE ET SPECIFICATION DE LA CONNAISSANCE A L'AIDE D'UNE APPROCHE MULTIPLE ET INCREMENTIELLE POUR LES PROCESSUS HYBRIDES

Cette section s'articule autour de trois parties, dans la première partie et la deuxième partie nous présenterons l'approche multiple et incrémentielle retenue pour cartographier la connaissance des processus hybrides ; dans la dernière partie, nous présenterons les règles de traduction utilisées pour formaliser et discrétiser les processus continus en processus discret et donc mobilisable pour simuler et valoriser les processus de la CLH.

2.1 Approche Multiple et incrémentielle pour les processus hybrides

Nous reprenons le processus de modélisation du domaine tel que [Fenies, 2006] l'a défini dans le cadre d'une méthodologie de modélisation des systèmes logistiques.

La méthodologie de modélisation doit permettre, quel que soit le type de problème et le niveau de modélisation, de fournir une approche pour permettre l'évaluation des performances du système dans son ensemble, comme d'un processus ou d'une activité pour tout problème tactique et opérationnel. L'approche de modélisation multiple et incrémentielle proposée par [Fenies, 2006] permet de modéliser un système de manière hiérarchique, et de combiner modélisation macroscopique, mésoscopique et microscopique. La modélisation d'un système complexe sous la forme de processus multiples et incrémentiels permet de concevoir un système d'évaluation de la performance unique pour une activité, un processus (ensemble d'activités) (figure 25) ou un système complexe (ensemble de processus organisationnels) (figure 26). Ainsi, un apport de la méthodologie de modélisation par les processus multiples et incrémentiels est de pouvoir spécifier un système constitué de processus et d'évaluer son fonctionnement quel que soit le type de problème traité, et le niveau de modélisation (macroscopique, mésoscopique et microscopique).

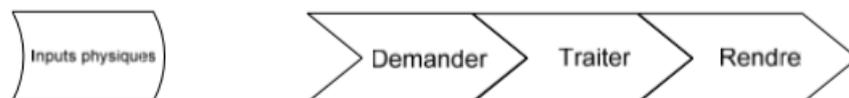


Figure 23: les activités du flux physique d'un processus élémentaire



Figure 24: les activités du flux financier d'un processus élémentaire

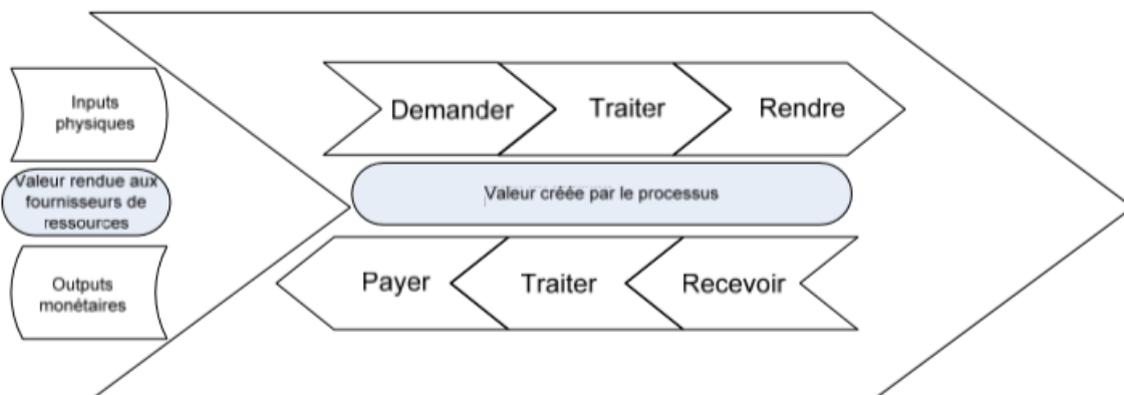


Figure 25: Un processus élémentaire

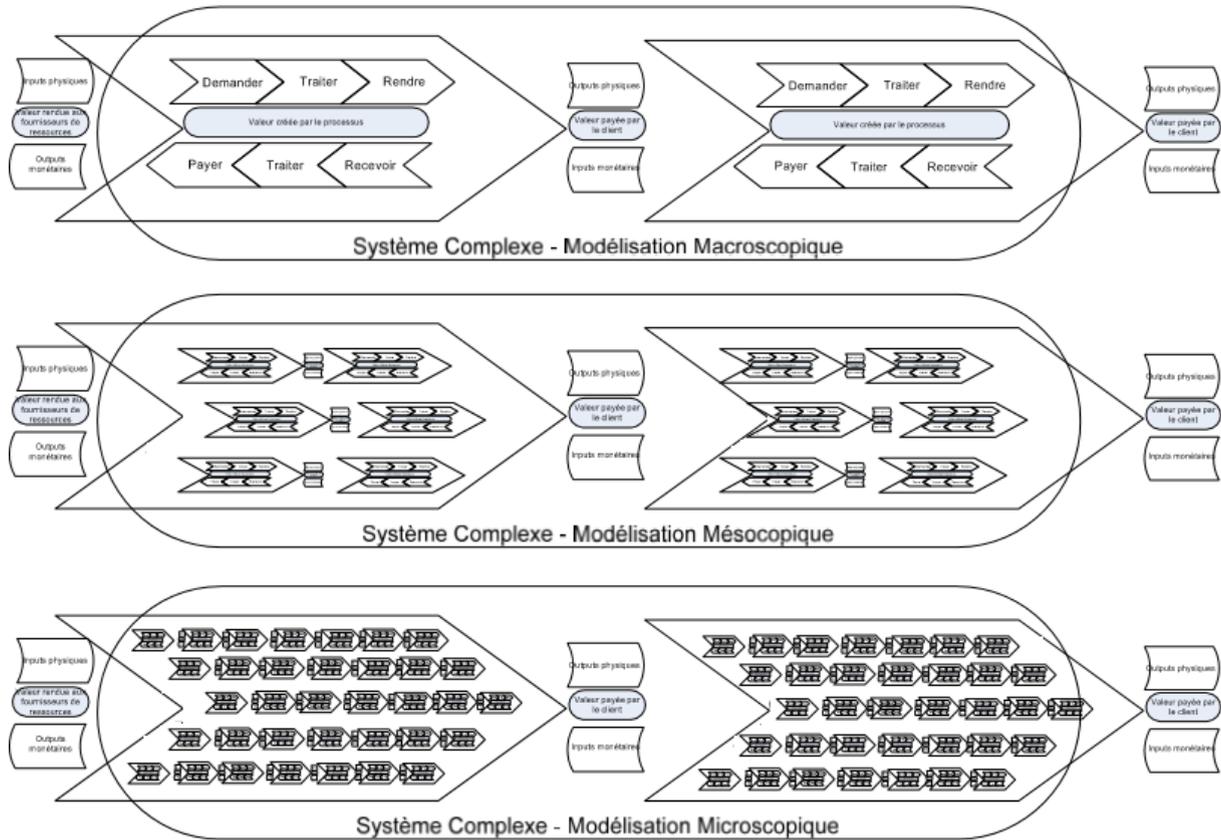


Figure 26: Décomposition d'un système composé de processus multiple

2.2 Spécification des flux et de la connaissance sur la CLH à l'aide d'une approche métier et objet.

La construction du modèle de connaissance pour la CLH suppose de recourir à la décomposition en 3 sous systèmes d'ASCI (SSP, SSL, SSD) qui structureront cette sous-section.

Le Sous Système Physique :

Force est de constater qu'un sous-système physique est défini comme l'ensemble des moyens de production de biens et services, des manutentions, de transport et de stockage, nécessaires à la réalisation du processus logistique pour la transformation des flux physiques à partir de l'acquisition des matières premières jusqu'à la livraison du produit fini au client. La topologie du sous-système physique définit la répartition géographique des moyens physiques et leurs interconnexions.

La méthode de décomposition par niveaux a été retenue pour représenter hiérarchiquement la structure du sous-système physique. Elle permet de définir des sous-systèmes qui sont par ordre de décomposition décroissant :

- La CL (composée de plusieurs sites : par exemple La CLH de l'axe Nord de l'OCP est composées des sites d'extraction minière, des sites de transformation du minerai, des sites de production d'engrais du complexe de Jorf) ;
- Le site dans la CL (par exemple le site de Jorf) ;
- La BU dans le site (par exemple l'atelier d'engrais de Maroc Phosphore) ;

- La cellule (par exemple la ligne 107 de l'atelier d'engrais) ;
- La machine (par exemple un désursaturateur sur une ligne d'engrais).

Chaque niveau contient des moyens physiques dont la fonctionnalité est similaire, c'est-à-dire des moyens de transformation et de transfert des flux de matières, des flux d'informations et des flux financiers, ainsi que les interfaces nécessaires pour communiquer avec l'environnement.

Soulignons que les différents types de problèmes évoqués dans la méthodologie de modélisation (i.e. conception, configuration, pilotage) demandent des niveaux de détails différents en ce qui concerne une étude de modélisation, afin d'apporter une aide à la décision. Dans ce contexte de réflexion, nous présentons sur la figure 27 la décomposition hiérarchique retenue, avec les principaux flux de matières, les flux financiers, et d'informations correspondants, ainsi que le niveau de détails conseillé en fonction du type de problème rencontré.

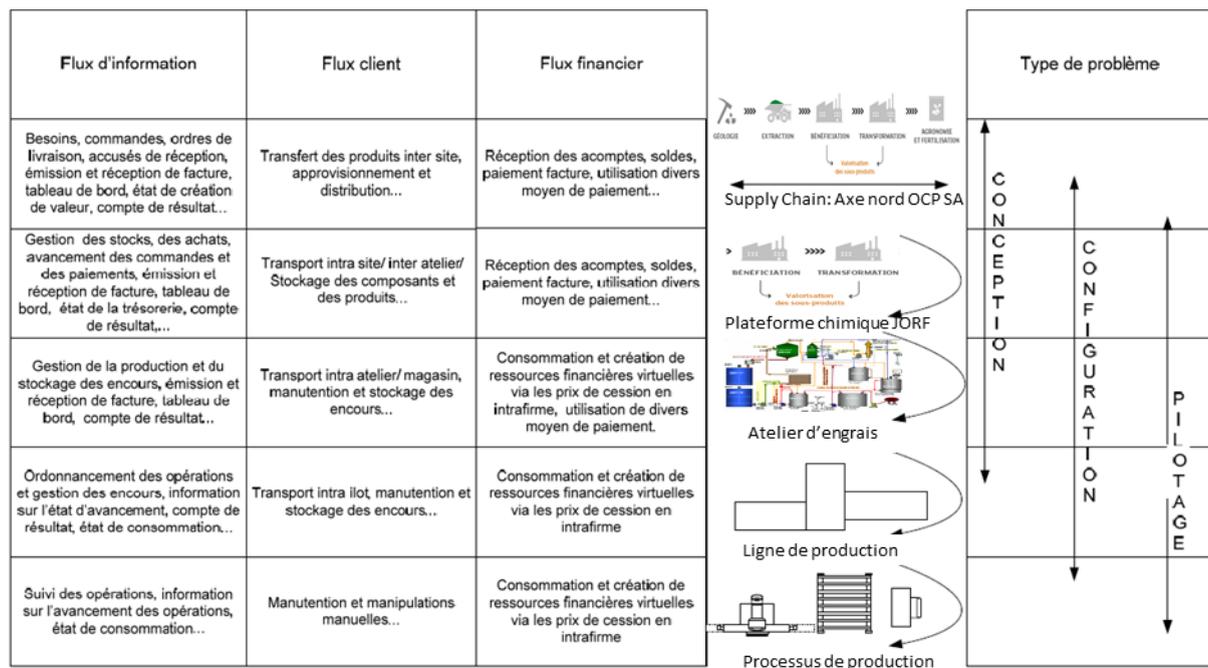


Figure 27: les principaux flux de matières, les flux financiers, et d'informations

Le Sous Système Logique :

L représente le sous-système logique. Pour une CL, le sous-système logique est composé de l'ensemble des matières premières, des produits semi-finis et des composants, de l'ensemble des prestations de services utilisées ou produites ainsi que de l'ensemble des flux financiers qui viennent en contrepartie de chaque élément du flux physique.

Le sous-système logique définit, à partir des commandes de clients ou des prévisions commerciales, les ordres de fabrication, les ordres de livraison, les gammes et les nomenclatures correspondantes, le routage déterministe des pièces détermine la matrice de charge du système, ainsi que la distribution et la quantité des ordres production dans le temps. Le sous-système logique nous permet de définir la charge du système imposée par les commandes des clients de telle façon qu'on puisse exprimer l'impact de chaque commande sur le

fonctionnement du système, et de définir les objectifs de transformation des flux de matières que la maîtrise du processus logistique satisfait en contrepartie d'éléments du flux financiers ; Pour connaître le cheminement d'un élément client dans le sous-système logique, il est nécessaire de spécifier ce dernier au travers des nomenclatures et des gammes de produits et services traités.

Le contexte de la spécification des flux dans une production en continu nécessite des aménagements que nous décrivons dans la section suivante.

La nomenclature d'un produit/d'un service représente l'ensemble des matières premières, des composants élémentaires, des produits semi-ouvrés, des prestations de services ainsi que leur quantité, qui sont nécessaires pour la production d'un élément pour le client. La gamme décrit en détail les opérations à effectuer sur les différents composants de la nomenclature afin d'obtenir le produit désiré. Ainsi, chaque catégorie d'élément client définit un objectif de transformation particulier de la SC, et peut être représenté sous la forme d'une gamme.

Le Sous Système Décisionnel :

Ce sous-système contient les règles de gestion et de pilotage des moyens physiques, et il agit sur le sous-système logique et sur le sous-système physique (contrats commerciaux, juridiques, règles de gestion, d'attribution des ressources, d'attribution des moyens de manutention et de transport...) pour assurer la gestion et la maîtrise du processus logistique afin de satisfaire les objectifs et les contraintes imposés par l'environnement. Le sous-système décisionnel contient les politiques de gestion et les règles de fonctionnement dont les actions affectent les différentes entités des trois sous-systèmes.

Le sous-système décisionnel assure un fonctionnement cohérent de la CLH. Les différents acteurs de la coalition sont liés par une série de relations contractuelles ou hiérarchique et le rôle du SSD de la SC est donc d'élaborer l'ensemble des ordres de gestion nécessaires pour que les objectifs globaux soient atteints. La mise en œuvre des politiques de gestion d'un système nécessite de pouvoir agir sur les entités des sous-systèmes logique et physique à partir des informations issues de ces deux sous-systèmes. La structuration du sous-système décisionnel nous permet de réaliser l'intégration des différentes entités de la SC et permet donc de modéliser la gestion du processus logistique.

La collecte de l'information nécessaire au sous-système décisionnel est réalisée :

- En interrogeant les objets cibles, si cette information est accessible à partir de leurs attributs ;
- En implantant des objets dédiés à cette collecte d'informations : c'est le rôle des capteurs. Un capteur est donc nécessaire dès que le sous-système décisionnel veut disposer d'une information qui n'est pas directement procurée par l'entité qui l'intéresse.

La prise de décision est réalisée par le sous-système décisionnel à partir de ces informations qui sont implantées dans les sous-systèmes logique et physique en modifiant les valeurs des attributs et/ou le comportement des entités visées, et en actionnant des actionneurs qui arrêtent le cheminement des éléments de flux de matières. La communication entre les trois sous-systèmes logique, physique et décisionnel n'est donc réalisée qu'avec des capteurs, des actionneurs et des flux d'information.

Le modèle générique de connaissance, et donc les sous-systèmes vont ainsi présenter une hiérarchie d'agrégation et une hiérarchie d'héritage. La hiérarchie d'agrégation favorise une construction incrémentielle puisqu'elle permet une décomposition du sous-système en sous-

ensembles, les sous-ensembles apportant des précisions au niveau structurel comme fonctionnel [Sarramia, 2002]. Le diagramme de classe d'un domaine sera instancié de manière incrémentielle en utilisant l'ordre croissant ou décroissant des niveaux, utilisable particulièrement pour le SSP (structure topologique du réseau) ou le SSL. La hiérarchie d'héritage exprime la variété dans les composants du système, qui par exemple à un processus décisionnel dans lequel les activités de décisions se répartissent entre des entités de différents niveaux. Les processus d'un système complexe peuvent aussi être représentés de cette manière (figure 29).

Les diagrammes UML capturent les aspects statiques et dynamiques et les traitements temporels tandis que les diagrammes ARIS (essentiellement à l'aide des chaînes de processus événementiels et des chaînes de plus-value ou chaînes de valeur dans la terminologie ARIS) capturent les aspects multiples et incrémentiels des processus (figure 30, figure 31).

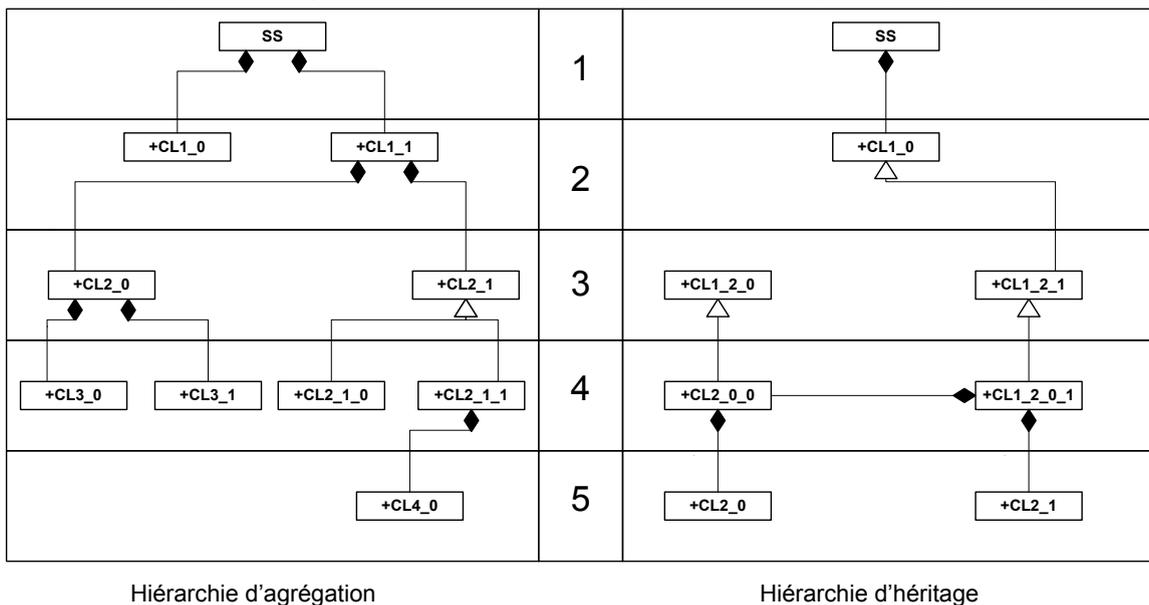


Figure 28: Hiérarchie d'agrégation, hiérarchie d'héritage et niveau de modélisation dans le modèle de connaissance.

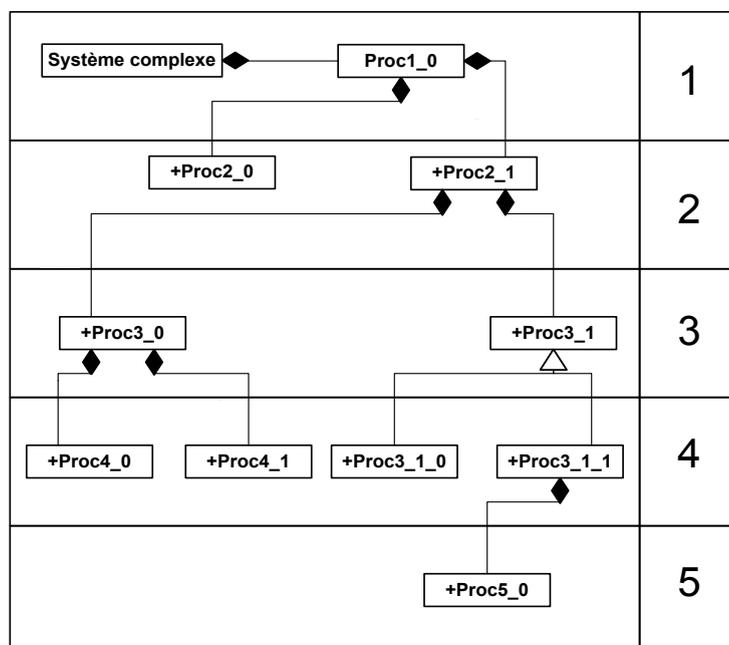


Figure 29: Hiérarchie d'agrégation de processus multiples et incrémentiels et niveau de modélisation.

Les entités du modèle de connaissance du SSP, SSD, SSL, combinées dans une vue par processus multiples et incrémentiels à l'aide des Chaîne de valeur de ARIS et des chaînes de processus événementielles apportent une aide dans les phases de conception et d'implantation. La figure 30 donne ainsi une représentation macroscopique et agrégée des processus d'un système complexe, tandis que la figure 31 présente à l'aide de Chaîne de Processus Évènementielles qui incluent conceptuellement d'autre chaînes de processus événementielle (CPE) une vue par processus multiples et incrémentiels des éléments de flux traversant un système complexe et permettent ainsi un agencement des processus.

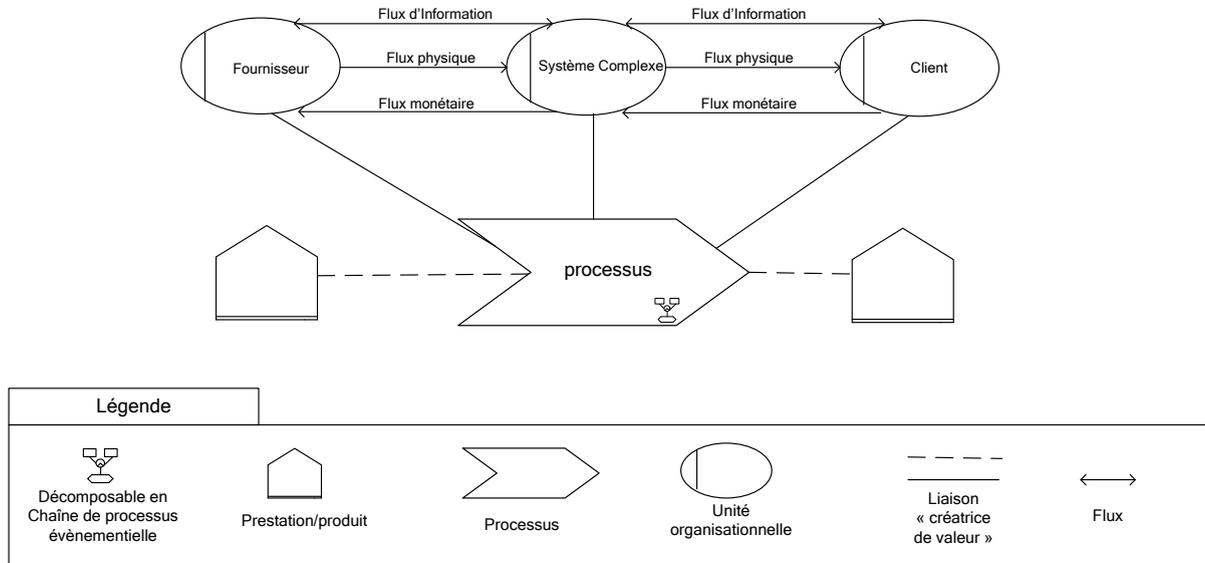


Figure 30: Chaîne de valeur pour la représentation d'un processus multiple et incrémentiel avec ARIS

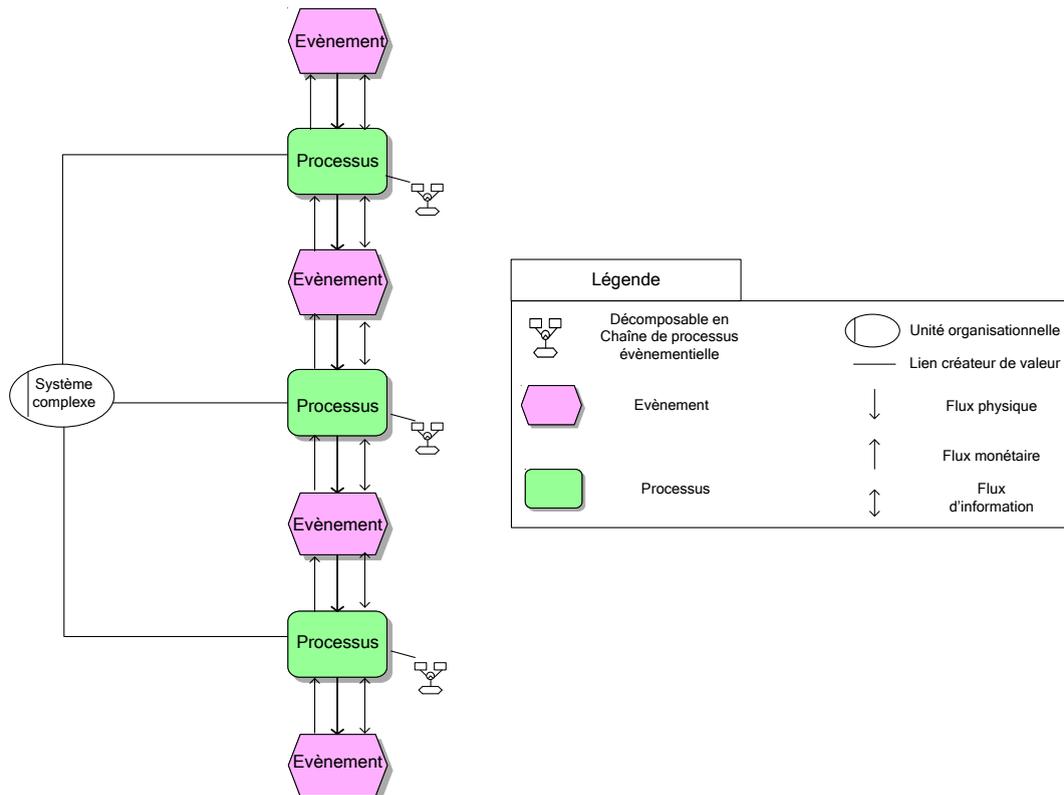


Figure 31: Chaîne de Processus Évènementielle pour un agencement de processus multiples et incrémentiels

2.3 Spécification des flux physiques pour les processus hybrides

Ce paragraphe reprend les concepts mis en évidence dans un rapport d'étude écrit par [Giard, 2016] dans le contexte de la chaire d'optimisation et mis en œuvre et publié par [Degoun et Retmi, 2015]. La spécification des flux physiques et des processus hybrides supposent ainsi d'être capable de discrétiser les processus continus. C'est ce que nous expliquons dans ce paragraphe.

La modélisation d'un processus continu par un SED repose sur une discrétisation des flux entrants et sortants, produits pendant un intervalle de temps. Cet intervalle, constant dans la simulation peut ne pas être le même pour tous les processus continus modélisés, cette granularité temporelle étant liée à des caractéristiques locales. Cette hétérogénéité ne pose pas de problèmes, dans ces conditions, un processus continu prélève, toutes les minutes, un lot par intrant requis par le processus. Après avoir effectué la transformation désirée, le processus continu émet un lot par extrant produit par le processus.

La simulation permet d'évaluer un système et de voir son comportement en suivant l'évolution des états de ce système dans le temps. Elle peut être utilisée pour évaluer les performances d'un système existant ou pour concevoir un nouveau système à partir des spécifications précises.

Une fois que le système est modélisé, une simulation peut être entreprise. Le flux d'éléments de travail à travers le système est représenté par l'animation sur l'écran afin que la pertinence du modèle puisse être évaluée [Shalliker et Ricketts, 2002].

L'exemple retenu pour illustrer cette discrétisation (figure 32) est celui d'un processeur continu possédant deux intrants et un extrant. La logique du continu amène à considérer les flux comme des $\Delta q/\Delta t$ (en toute rigueur des dq/dt) où q est la quantité. Dans cet exemple, un débit d'entrée de 3 T/min sera assigné pour le premier intrant, 6 T/min pour le second et 9 T/min pour le produit extrant.



Figure 32: Exemple d'un processus continu

La logique de discrétisation de flux revient à « segmenter » ces flux selon la maille temporelle retenue pour créer des items (lots reçus où émis) qui entrent et sortent d'un processeur continu à intervalle régulier θ . La maille temporelle retenue ici est $\theta = 10$ min. Cet item possède une caractéristique massique correspondant au produit de son débit (défini avec la même unité de temps que θ) par cet intervalle θ . L'application de ce principe, dans l'exemple de la figure 33, avec $\theta = 10$, conduit à la discrétisation des flux illustrée à la figure 34 et le passage au principe de modélisation discrète.

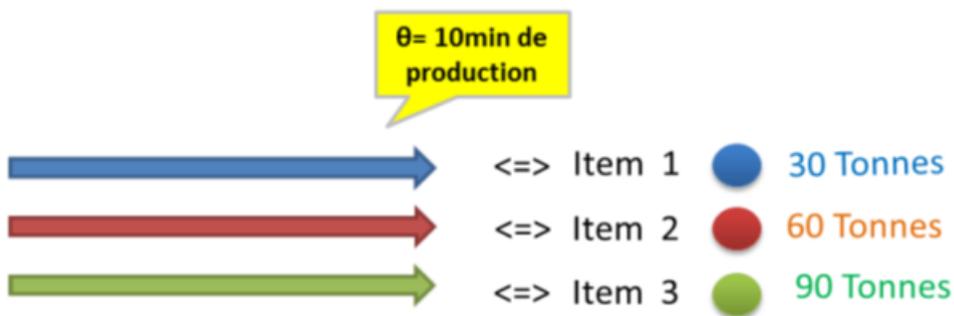


Figure 33: Principe de discrétisation des flux



Figure 34: Discrétisation du processus continu

Le système à événements discret dispose de six primitives de base avec lesquelles il est possible d'effectuer n'importe quelle modélisation d'un système discret. Des primitives complémentaires, sont introduites pour permettre la modélisation des processus continus.

A. Primitives de base du SED

Les six primitives de bases du SED sont les suivantes :

- Items : ce sont les objets qui transitent dans le système. Ils peuvent être relatifs à des éléments physiques (ex : produit, matière première...) ou bien à des éléments informationnels (ex : commande)
- Points d'entrée : ils ont pour rôle d'introduire des items dans le système productif à intervalles réguliers ou aléatoires.
- Points de sortie : Ils ont pour rôle de retirer les items qui ont été traités par le système productif.
- Processeur : c'est un lieu où un (ou plusieurs items) sont traités (simultanément) pendant une certaine durée. Ce traitement correspond à une transformation de caractéristiques physiques ou à un déplacement. L'admission dans un processeur est conditionné par l'achèvement des traitements du ou des items entrés précédemment dans ce processeur.
- Stocks : ils ont pour objet de stocker des items. Leur comportement est passif, c'est-à-dire que ce sont des processeurs qui les alimentent en items ou qui prélèvent des items. Ils sont dotés de deux caractéristiques, l'une temporelle avec un temps d'attente minimal dans le stock, éventuellement nul, et l'autre, physique exprimée sous forme d'un stock maximal qui correspond généralement au nombre maximal d'items que le stock peut contenir
- Route : elle se visualise par une flèche reliant deux points de passage d'un item, ces points de passages étant les processeurs, les stocks et les points d'entrée ou de sortie ; une route est créée dès que, dans la production de biens ou de services du système productif modélisé, un item est susceptible d'emprunter un chemin pour aller d'un point d'entrée vers un stock, d'un stock vers un processeur, d'un processeur vers un stock ou un point de sortie. Sauf exception, il n'existe pas de route reliant deux processeurs.



Figure 35: primitives de base

B. Primitives complémentaires

Les primitives de base d'un SED ne sont pas adaptées pour modéliser correctement des processus de production continus. Par conséquent, cinq primitives complémentaires, sont nécessaires pour être en mesure de modéliser et simuler une CLH pour analyser l'impact de décisions opérationnelles ou tactiques. Pour chaque primitive complémentaire, on proposera une icône, ce qui permettra de représenter graphiquement la modélisation d'un système hybride, indépendamment du SED utilisé en support.

a. Primitive stock capacitaire

Dans un SED, l'une des propriétés classiques d'un stock est sa capacité. Pour mémoire, celle-ci se définit par le nombre maximal d'items qu'il peut contenir à un moment donné. Lorsqu'un item correspond à un lot de produit (liquide, sable...), la définition habituelle de la capacité du stock est utilisable, si la caractéristique volumique d'un item reste toujours la même, le passage

d'une capacité exprimée en volume en une capacité exprimée en un nombre maximal d'items homogènes étant immédiate. Le plus souvent, ce n'est pas le cas car les items correspondent à des lots fabriqués à des périodes et/ou des lieux différents. Dès lors, il n'est plus possible d'exprimer la capacité en nombre d'items. On a donc créé une nouvelle primitive de base « stock capacitaire » possédant deux propriétés : sa capacité maximale, exprimée en volume, et sa capacité utilisée qui est une propriété mise à jour dynamiquement lors des entrées et des sorties des items. Cette primitive possède un mécanisme d'admission d'un item susceptible d'entrer en stock, s'assurant que la capacité utilisée, augmentée par le volume de l'item candidat, n'excède pas la capacité maximale.

Techniquement cette primitive se compose d'un stock d'admission de capacité unitaire, suivi d'un processeur fictif qui alimente le stock de capacité k . Le processeur fictif possède un temps opératoire nul ; il a pour objet de bloquer un item qui violerait la contrainte de capacité. Ces trois composants sont « réunies » dans une primitive représentée graphiquement par une icône constituée d'un triangle dans lequel figure la capacité k (figure 36). Cette primitive, consommatrice en temps de calcul dans la simulation, ne s'impose pas lorsque ce stock relie deux processus synchronisés.

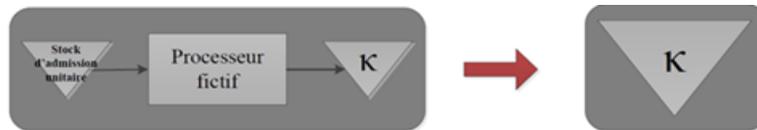


Figure 36: Primitive Stock Capacitaire

b. Primitive convertisseur

Le convertisseur a été défini comme un processus de mise à disposition d'un item à un processeur continu, possédant les caractéristiques requises par ce processeur au moment de son admission.

Techniquement cette primitive combine des primitives de base et la primitive stock capacitaire: elle se compose d'un stock d'admission capacitaire de capacité k , suivi d'un processeur fictif de conversion, suivi d'un stock de capacité unitaire. Le processeur fictif, de temps opératoire nul prélève un ou plusieurs items du stock amont pour créer un item ayant les caractéristiques requises par le processus continu. Ce processus de conversion n'est déclenché que lorsque l'item du stock aval est prélevé par le processus continu appelant puisqu'il ne peut pas envoyer d'item dans ce stock aval s'il n'est pas vide. Cette conversion est donc déclenchée par l'appel d'un item par le processus continu. Ces composants sont « réunis » dans une primitive représentée graphiquement par une icône constituée d'un double triangle. Techniquement, ce convertisseur joue le rôle d'un stock. Cette primitive hérite de la capacité k du stock d'admission. Si le problème de capacité ne se pose pas, l'information de capacité est omise. Un processeur continu envoie périodiquement un item vers chacun des stocks-aval avec lesquels il est connecté. L'un de ces stocks-aval peut alimenter un processeur continu ; dans ce cas, ce stock doit être remplacé par un convertisseur.



Figure 37: Primitive Convertisseur

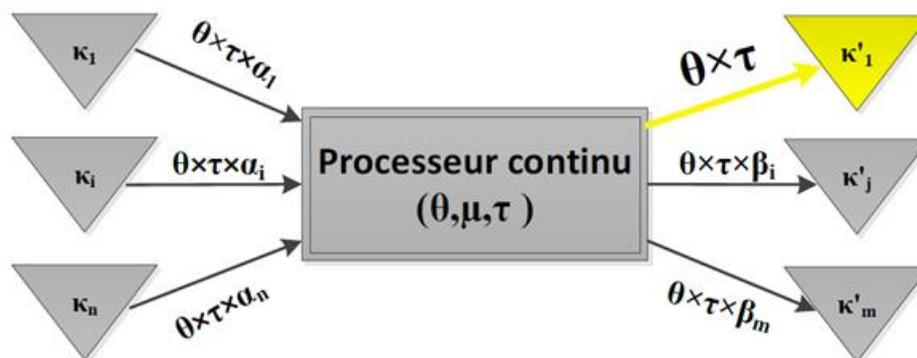
c. Primitive processeur continu

Comme proposé au chapitre précédent, un processus continu est modélisé par une séquence de trois primitives d'un SED : un processeur fictif qui cadence l'arrivée des items (intervalle de temps θ), un stock correspondant au traitement (temps de séjour μ), et un processeur fictif d'un temps opératoire nul qui a pour fonction de retirer immédiatement du stock les items ayant séjourné dans le stock un temps μ . Les composantes de base de ce processeur continu sont « réunies » dans une icône constituée d'un double rectangle dans lequel figurent les paramètres θ et μ (figure 38) pour créer la primitive **processeur continu**

**Figure 38:** Primitive Processeur continu

La prise en compte de la nomenclature, qui décrit les relations existantes entre des caractéristiques massiques des intrants et des extrants, conduit à une modélisation plus complète d'un processus continu dédié à la fabrication d'un extrant donné. Idéalement, ces relations découlent de l'équation molaire de production de cet extrant.

En règle générale, le processus continu a été créé pour produire un extrant particulier (acide sulfurique, par exemple) que, dans notre modélisation, on qualifie de flux maître. On définira la nomenclature par rapport à ce flux maître : la production d'une quantité 1 du flux maître implique la consommation d'une quantité α_i de l'intrant i et la production d'une quantité β_j de l'extrant j . On parlera alors de nomenclature normalisée. Avec une cadence d'admission et de sortie θ des items dans le processeur continu, la masse d'un item du flux principal est $\tau \times \theta$, où θ dépend des caractéristiques des équipements mobilisés et τ correspond à un débit massique (même unité de temps que θ). La masse de l'item entrant i est alors $\tau \times \theta \times \alpha_i$ et celle des items sortants j , $\tau \times \theta \times \beta_j$. La figure 39 représente la primitive d'un processus continu explicitant la nomenclature utilisée.

**Figure 39:** Primitive d'un processus continu avec explicitation de nomenclature

Reprenons l'exemple du processeur continu illustré ci-dessus. La présence d'un seul extrant fait de lui l'output principal, d'où l'affectation de son débit de production ($\tau = 9 \text{ T/min}$) comme

paramètre du processeur continu. Ensuite les coefficients de nomenclature des inputs sont déterminés par rapport à celui du débit maître : le premier coefficient α_1 sera égal à $1/3$ et le second α_2 , égal à $2/3$. Avec la cadence d'admission θ fixée à dix minutes, les caractéristiques massiques des items sont : $\tau \times \theta = 10 \times 9 = 90$ T/min, pour l'extrant principal et respectivement $\tau \times \theta \times \alpha_1 = 90 \times (1/3) = 30$ T/min et $\tau \times \theta \times \alpha_2 = 90 \times (2/3) = 60$ T/min pour les deux intrants, ce qui conduit à la figure 40.



Figure 40: Utilisation de la primitive d'un processus continu (avec explicitation de nomenclature)

Les items contenus dans les stocks situés en amont d'un processeur continu ne possèdent pas nécessairement les caractéristiques qu'impliquent le rythme d'admission θ , du processeur, sa gamme et sa nomenclature, à savoir $\tau \times \theta \times \alpha_i$ pour l'intrant i , il faut alors remplacer en amont les stocks par des convertisseurs. Il en est de même si l'extrant produit j est directement consommé par un autre processeur continu. La figure 41 adapte la figure 39 en supposant nécessaire l'usage de convertisseurs en amont et en aval.

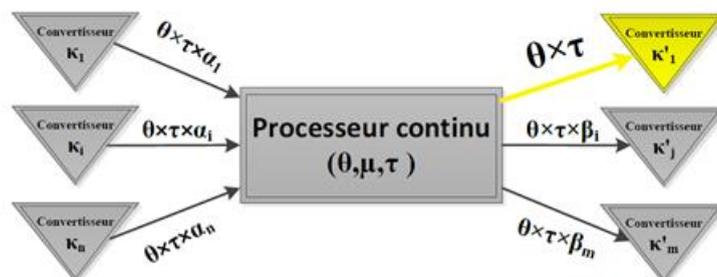


Figure 41: Primitive d'un processus continu avec explicitation de nomenclature et utilisation de convertisseurs

Trois remarques additionnelles importantes doivent être faites :

- Les conditions de production en milieu industriel ne sont pas celles d'un laboratoire : on observe généralement une légère déperdition qui se traduit par une consommation supérieure des intrants, pour une même quantité désirée du flux maître, et une production éventuellement supérieure des autres extrants, accompagnée d'une production d'extrants supplémentaires correspondant à des déchets.
- Cette modélisation n'implique pas que le processeur continu fabrique toujours le même produit : certains intrants ou extrants.
- La production nominale d'un processeur continu τ correspond à l'état de fonctionnement normal de ce dernier. En pratique, cette caractéristique de débit de production nominale de l'extrant principal τ est modulée par un paramètre de commande connu sous le nom de régime de marche. Ce régime de marche, noté R , est exprimé en pourcentage de la production nominale. La figure 42 illustre la prise en compte du régime marche R , en introduisant la

production effective du flux maître, égale à $R \times \tau$. Dans la suite, nous ne tiendrons pas compte du régime de marche qui relève d'une prise de décision et non de caractéristiques physiques.

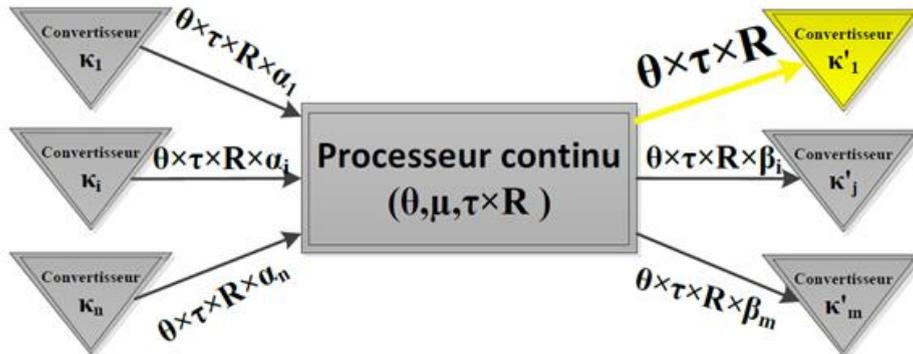


Figure 42: Primitive d'un processus continu avec prise en compte de son régime de marche

d. Primitive vanne de distribution

Dans la présentation de la primitive d'un processus continu avec explicitation des nomenclatures, un stock capacitaire unique (ou un convertisseur) est assigné à chaque extrant. Le stock capacitaire de l'extrant correspondant au flux principal peut alimenter ensuite d'autres stocks (stocks capacitaires ou convertisseurs) de ce même produit. Par exemple, la production des lignes de production d'acide sulfurique 29 est déversée dans un stock qui alimente les lignes de production d'acide 54 mais aussi celles des ateliers de production d'engrais (sans compter les JV implantées sur le site de Jorf). Dans une modélisation de type SED, les stocks sont passifs et ne peuvent donc pas pousser ou tirer des items. Il est alors nécessaire de créer une primitive **vanne de distribution** pour contrôler cette circulation des flux d'un même produit émis vers différents stocks, ce qu'illustre le schéma de principe de la figure 43.

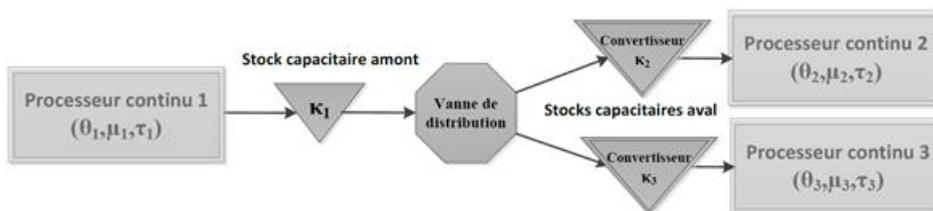


Figure 43: Primitive vanne de distribution

La vanne est un processeur fictif dont la fonction est de prélever, avec une cadence θ' prédéterminée (ce qui correspond à son temps opératoire), un item du stock amont pour le diriger vers l'un des convertisseurs de l'aval. La commande d'une vanne combine trois décisions.

- La cadence d'enlèvement de la vanne θ' est une variable de commande de cette vanne: si elle est supérieure à celle d'alimentation du stock amont ($\theta' < \theta_1$), le stock capacitaire amont se videra progressivement, sauf si les stocks vers lesquels les items produits sont envoyés sont saturés ; dans le cas contraire ($\theta' > \theta_1$). Ce principe est adapté lorsque le stock amont est alimenté par plusieurs processeurs continus.
- La seconde décision porte sur la mise en service ou la neutralisation de chacune des routes allant de la vanne à chacun des stocks capacitaires auxquels cette vanne est

connectée ; ce type de décision reste valable tant qu'une nouvelle décision modificative n'est pas prise.

- La troisième décision porte sur le choix de la direction de sortie de l'item « rentré » dans la vanne. Plusieurs solutions sont possibles : tirage aléatoire de la route avec ou sans équiprobabilité, envoi dans chaque direction d'un item dont la caractéristique volumique et massique est égale à celle de l'item d'entrée divisé par le nombre de directions offertes... Cette décision peut être conditionnée par la saturation des stocks capacitaires auxquels cette vanne est connectée.

e. Primitive éclatement d'OF

La CLH peut combiner une gestion de type « flux poussés » (comme par exemple dans la partie amont du site de Jorf) et une logique de type « flux tirés », (comme par exemple une production à la commande des engrais ainsi que des ordres de livraison de matières premières (acides) à des JV qui sont, du reste, susceptibles d'alimenter symétriquement la CLH de l'OCP). À l'interface de ces deux sous-ensembles de la CLH se trouvent des stocks de matières dont l'importance peut ou non assurer le découplage entre ces deux sous-systèmes productifs.

La commande d'un système à flux poussés, s'effectue avec des décisions d'ouverture ou de fermeture de processeurs (ce qui intègre la prise en compte de la maintenance) et, dans certains cas, des décisions de régimes de marche de certains de ces processeurs, le tout sous contrainte de disponibilité de matières premières. La commande d'une quantité Q d'un produit fabriqué par un processus continu donné (θ) une gamme donnée (\rightarrow débit τ du flux maître) définit un temps de production qui, dans notre modélisation par SED, est un multiple de l'intervalle de temps θ cadencant les admissions des intrants dans le processeur continu ($Q/(\tau \times \theta)$). La programmation de l'exécution de cette commande à partir de la date T correspond à un OF. Pour piloter l'exécution de cet OF, la solution retenue consiste à scinder à la date T cet Ordre de Fabrication (OF) initial (qui est un item stocké dans la simulation) en θ OF élémentaires (et donc en autant d'items), et à ajouter à la nomenclature du produit à fabriquer l'OF élémentaire, la disponibilité de l'item correspondant conditionnant l'exécution de la production de ce lot de produit. Ce mécanisme est illustré par la figure 44 où les composantes de base de cette primitive sont « réunies » dans une icône constituée d'un triple triangle, cette primitive ayant des caractéristiques de stock. La figure 45 illustre la combinaison de la primitive éclatement et du processus continu avec explicitation de la nomenclature (modifiée pour intégrer l'item informationnel correspondant à un OF élémentaire).

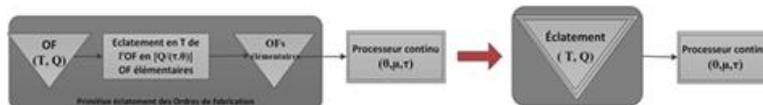


Figure 44: Primitive éclatement de gestion des ordres de fabrication d'un processus continu

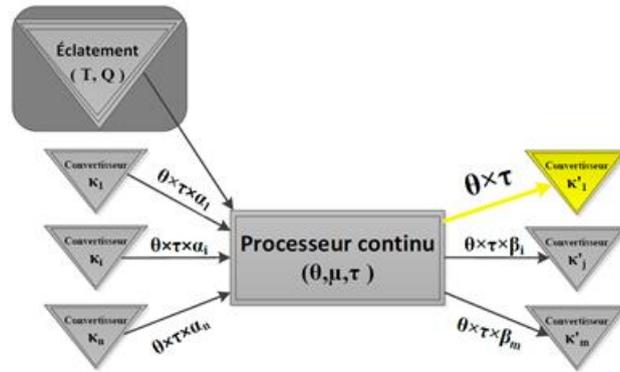


Figure 45: Connexion de la primitive éclatement avec la primitive processeur continu avec explicitation de la nomenclature

S'agissant de la gestion d'OF à exécuter sur un processeur continu donné, il est évident qu'il existe nécessairement une primitive « éclatement » par processeur continu. Cette primitive peut, sans problème, stocker une liste ordonnée d'OFs programmés sur l'horizon de la simulation. Au début de la simulation, le tableau de tous les OFs programmés est lu pour initialiser un stock d'OFs, chaque OF étant représenté par un item (de nature informationnel et non physique). Ces items d'OF, outre la mention de la référence à produire et la date de lancement en production, comportent la référence du convertisseur à utiliser (et donc implicitement du processeur continu auquel le convertisseur est connecté). En début de simulation, ces items sont traités par un processeur fictif qui les dirige vers le convertisseur approprié, ce numéro de convertisseur correspondant à un numéro de route en sortie du processeur fictif opérant cet aiguillage.

2.4 Règles de simplification utilisées dans la modélisation

Deux règles sont utilisées. La première simplifie le traitement de flux de produits considérés comme secondaires dans la modélisation retenue. La seconde permet de représenter un ensemble de processeurs identiques par une même icône (principe de réplication).

- **Prise en compte simplifiée de certains flux**

Un certain nombre d'intrants et d'extrants, mobilisés dans une nomenclature de production, ne posent pas de problème particulier dans l'optique retenue dans la modélisation (éclairage décisionnel au niveau tactique et opérationnel) : les intrants parce qu'ils sont réputés disponibles sans rupture de stock (eau...) et les extrants liés à la production du flux principal, parce que leur élimination ou leur retraitement ne pose pas de difficulté. L'utilisation des principes développés ci-dessus conduit à créer un convertisseur par intrant, ce qui ralentit inutilement la simulation pour les intrants considérés comme secondaires. Cela étant, le point de vue actuellement retenu peut être ultérieurement remis en cause. Par exemple, dans les processus actuellement modélisés, l'eau est considérée comme un produit d'un intérêt secondaire mais ce point de vue peut être remis en cause.

Pour assurer la pérennité de la modélisation, tous les flux sont conservés mais les coefficients de nomenclature des intrants secondaires prennent une valeur arbitraire ($\alpha_i = 1$), égale à la

masse assignée à l'item de cet intrant lors de son introduction dans le système productif simulé. Dès lors, le convertisseur se comporte comme un stock classique.

En cas de changement d'optique, il suffit de modifier la nomenclature du flux maître, en redonner au coefficient de l'intrant considéré antérieurement comme secondaire, sa valeur réelle dans la nomenclature.

- **Regroupement de processeurs parallèles identiques**

En production continue, la réplication à l'identique de certaines configurations productives (ligne de production d'un acide, par exemple) est un cas de figure fréquent. Lorsque ces processeurs continus fabriquent le même produit avec la même gamme et la même nomenclature et qu'ils partagent la même cadence d'admission et les mêmes alimentations d'intrants et d'extrants, on peut les considérer comme des processeurs parallèles identiques et on ne conserve qu'une seule icône pour représenter cet ensemble de processeurs. Pour ce faire, la convention adoptée consiste à ajouter en bas à droite de l'icône du processeur continu, le nombre de ses instances dans un petit demi-cercle. La figure 46, illustre cette convention de regroupement dans un atelier possédant trois processeurs identiques connectés aux mêmes convertisseurs et stocks.

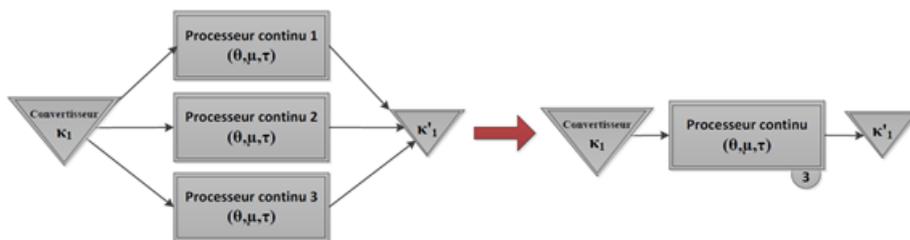


Figure 46: Exemple de réplication de 3 processeurs identiques

La section suivante présente les approches que nous proposons pour construire, à partir des modèles de connaissance et des spécifications des processus hybrides les modèles informatiques permettant de valoriser les processus.

3 CONCEPTION ET IMPLANTATION POUR LA VALORISATION DES PROCESSUS HYBRIDES

Le modèle générique de conception créé pendant les phases de conception et d'implantation est la spécialisation du modèle générique de connaissance en vue de son implantation. Il s'agit d'un modèle orienté objet, formalisé avec UML et ARIS, qui se rapproche de l'implantation logicielle sans prendre en compte les spécificités de telle ou telle implantation (langage de programmation, outil de simulation...). Le passage du modèle de connaissance générique au modèle de conception, puis du modèle de conception au modèle d'implantation est réalisé par l'extension de la méthodologie proposée par [Sarramia, 2002] sur les flux financiers. Sur ce point, la démarche de [Fenies, 2006] est reprise en intégrant une vue "évaluation monétaire des processus" qui permet, lorsque le domaine contient des processus organisationnels, de concevoir des modèles d'action intégrant une vue flux financier. Ainsi, le premier paragraphe présente les éléments nécessaires pour mettre en place depuis le modèle de connaissance les objets génériques nécessaires pour une évaluation des processus, tandis que le deuxième

paragraphe propose la construction du modèle d'implantation. La troisième partie propose l'emboîtement informatique des modèles de simulation et de valorisation retenus.

3.1 Passage du modèle de connaissance au modèle de conception pour l'évaluation de processus

Les différentes entités identifiées dans le modèle de connaissance, pour pouvoir être incluse dans un modèle de simulation doivent être filtrées et dérivées.

3.1.1 Filtrage et évaluation de performance

Le filtrage consiste à vérifier si tous les attributs et toutes les méthodes sont pertinents pour simuler l'entité correspondante. Si cette suppression enlève des attributs, les méthodes de mise à jour correspondantes seront également ôtées. Ainsi, pour parvenir à évaluer un processus multiple et incrémentiel, d'une manière minimaliste seuls les objets suivants sont nécessaires : le processus, l'objet client, l'objet fournisseur, la transaction et les éléments de flux qui la composent (éléments physique, informationnel ou financier). Les objets sont ici présentés de manière générique. Sur chaque domaine, ils seront instanciés suivant des termes différents, dérivés depuis l'ontologie. La figure 47 montre les relations entre les objets nécessaires pour le modèle d'évaluation d'un processus.

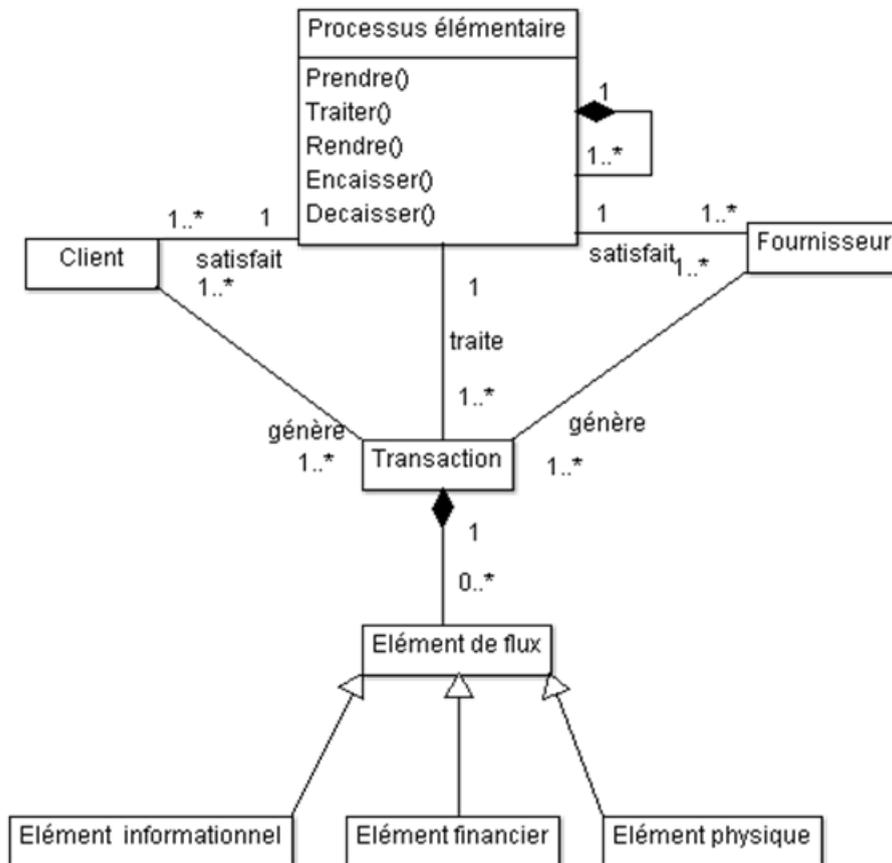


Figure 47: Les entités nécessaires pour construire un système de valorisation centré processus

de réduire la complexité du modèle générique de connaissance en ne gardant que les éléments nécessaires pour la simulation (figure 49).

Chaque classe Entité_S dédiée à la simulation, dérivée de la classe Entité du modèle générique de connaissance, modélisant une entité du système réel, possède une méthode correspondant à son fonctionnement. Cette méthode (FONC) est abstraite de façon à être spécialisée en différentes versions qui correspondent à une classe fille de Entité_S (par exemple Entité_S1...). Les classes Entité_i possèdent ainsi une méthode FONC fonctionnelle qui correspond à un modèle particulier.

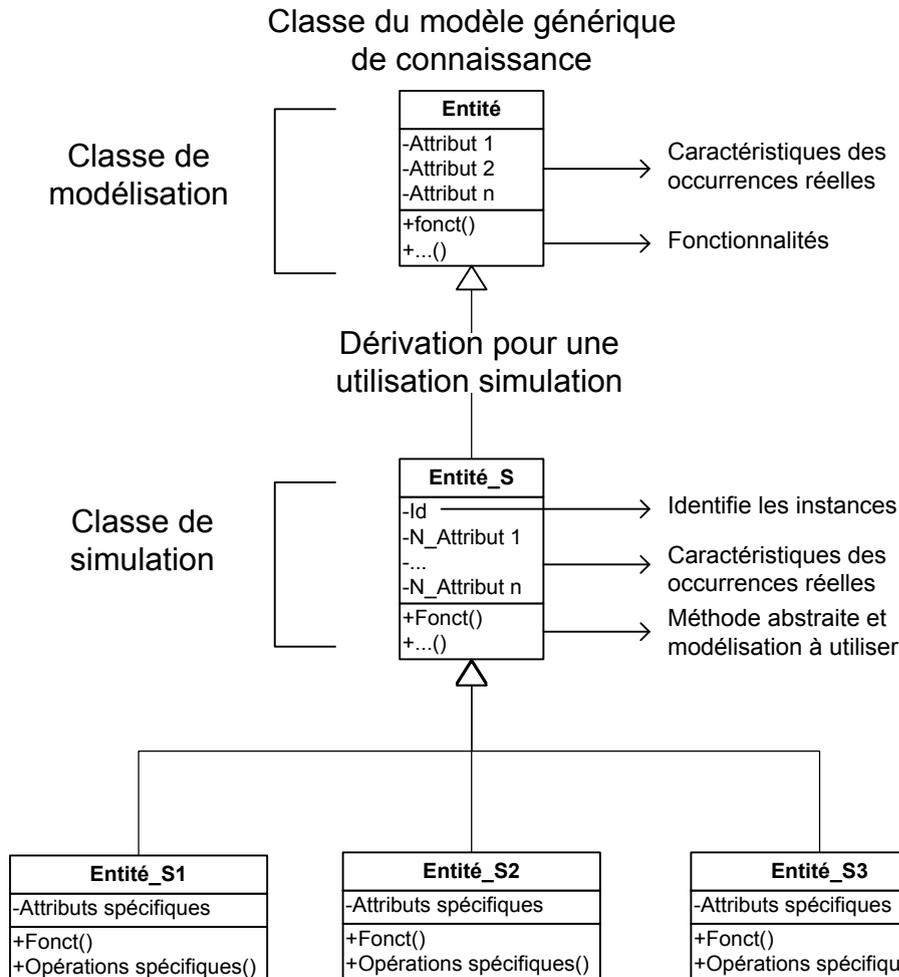


Figure 49: Passage du modèle générique de connaissance vers une vue simulation

3.2 Construction du modèle d'implantation

Le modèle d'implantation correspond au codage effectif de l'environnement et des composants logiciels. Cette phase peut nécessiter la création de nouvelles classes dans les sous-systèmes. Ainsi le passage du modèle générique de connaissance au modèle d'implantation via le modèle de conception (figure 50) nécessite l'ajout de différentes classes dans l'ensemble des diagrammes de classes :

- sous la forme de nouvelles classes mères afin de créer une nouvelle hiérarchie utilisable pour les aspects incrémentiels de la modélisation ;
- sous la forme de nouvelles classes permettant de prendre en compte les aspects multiples de la modélisation ;

- sous la forme d'une nouvelle hiérarchie de classes non directement incluse dans un sous-système mais permettant l'ajout de nouveaux objets multiples et incrémentiels utiles à l'implantation.

C'est à l'aide du modèle d'implantation qu'est construite la bibliothèque de composants logiciels.

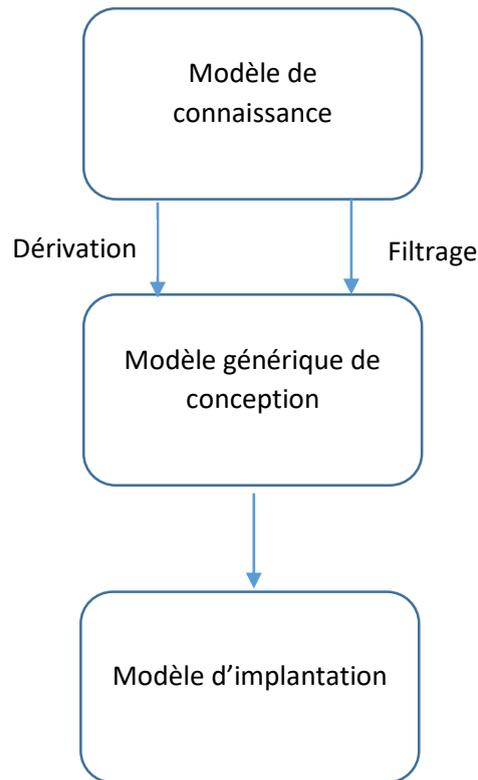


Figure 50: Modification des classes et de leurs hiérarchies lors de la construction de l'environnement

3.3 CONCEPTION ET IMPLANTATION DE COUPLAGE SED/ABC POUR LES PROCESSUS HYBRIDES

La mise en SC des activités de production, par une orientation production à la commande conduit à adapter le contrôle de gestion qui ne peut plus efficacement s'appuyer sur des données historiques, au moins pour la partie de la production qui est en flux tirés. Dans ce contexte, comme en management de projet, ce contrôle de gestion peut s'appuyer sur un référentiel dynamique qui peut s'appuyer sur le modèle de simulation construit. Ce référentiel est utilisable par un SIAD intégrant, de manière coordonnée, des préoccupations de pilotage opérationnel et tactique et celles du contrôle de gestion. Ce SIAD, doit permettre une meilleure compréhension des écarts physiques entre le prévu et le réalisé et, dans une perspective d'évaluation de décisions alternatives, de choisir les décisions les plus intéressantes d'un point de vue économique.

L'étude des différentes méthodes de valorisation issues du SCC lors du chapitre 2 montre que les modèles ABC sont les plus adaptés pour évaluer les coûts dans la SC. Ce type de modèle explique la formation des coûts dans une SC, mais n'explique pas la formation des flux financiers couplés avec les flux physiques. Nous proposons d'intégrer cet aspect en proposant

une approche qui, tout en se basant sur le principe causal d'ABC, permet d'expliquer la formation des flux financiers couplés avec les flux physiques dans la SC dans une perspective d'aide à la décision.

Les deux approches TOVE et INPIM sont constituées par une modélisation unique des processus physiques et financiers, tandis que l'approche PREVA est une approche de modélisation multiple des processus financiers et industriels pour prendre en compte les phénomènes d'agrégation de données [Comelli et al, 2008]. Cette approche utilisée à plusieurs reprises pour mettre en place des systèmes de contrôle de gestion pour la CL mais exclusivement dans des industries discrètes nous paraît intéressante à reprendre et à orienter CLH. La robustesse de l'approche a été montrée à plusieurs reprises :

- au niveau stratégique dans le cadre du chaînage de réseau de production avec des réseaux de distribution [Fenies et al, 2010] ;
- au niveau tactique dans le cadre d'une SC d'un manufacturier pneumatique [Comelli et al, 2008] ;
- Cependant, l'approche utilisée n'a pas été utilisée au niveau opérationnel ni sur des systèmes de production hybride. Aussi, nous souhaitons la tester et la mettre en œuvre sur des systèmes de production hybride au niveau opérationnel.

Pour mettre en œuvre une évaluation économique de la CL reposant sur un usage combiné de l'ABC avec la SED, nous supposons qu'il est possible de découper de manière processuelle la CL modélisée en BU, qui sont des entités autonomes appartenant soit à la firme pivot de la CL ou à un fournisseur/ distributeur intégré à cette dernière. Nous supposons ainsi qu'une CLH est constituée de 1 à n BU, ce terme générique permettant de s'affranchir du découpage fonctionnel de la CLH. Pour utiliser les modèles ABC dans l'évaluation des processus, nous proposons de donner, pour chaque BU (une filiale, un atelier, une activité de transport ...) constituée d'au moins un processus logistique élémentaire, les différents éléments nécessaires pour traduire les activités du flux physique en éléments de flux financier. La conception et l'évaluation d'une activité par PREVA se fait en 3 étapes (figure 51) :

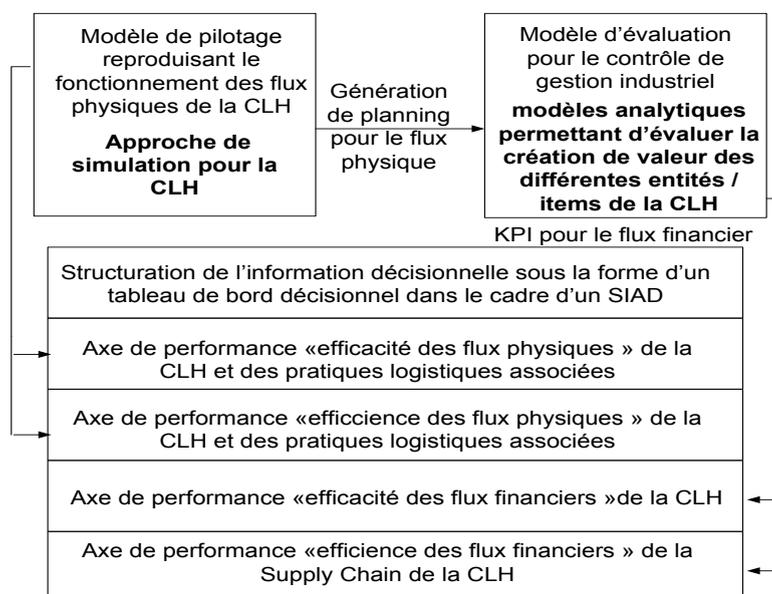


Figure 51: Le cadre général de l'approche PREVA

3.3.1 Evaluation du flux physique

La première étape concerne l'évaluation de la performance du flux physique à l'aide de la SED qui reproduit le fonctionnement opérationnel de la CLH. Cette première étape permet de connaître, du point de vue décisionnel, les niveaux de performance attendus pour l'activité du flux physique du processus logistique de la CLH. Cette étape nécessite la construction d'un modèle processuel complet de la CL modélisée avec plusieurs niveaux de granularité ; ce modèle est ensuite traduit en modèle de simulation reproduisant les flux de la CLH; des règles précises sont proposées pour permettre la M/S des flux physiques des processus continus / hybrides / discrets de la CLH [Degoun et al, 2014a], [Degoun et al, 2014b], section 2.3 et 2.4 sur la spécification des flux.

3.1.2 Evaluation du flux financier

La deuxième étape concerne l'évaluation du flux financier. Les éléments fournis par la simulation du flux physique, sous la forme de planning ou de traces de simulation, constituent la variable d'entrée du modèle analytique ABC pour construire une évaluation économique des processus logistiques (hybrides, discrets, continus). Le modèle permet d'évaluer l'efficacité et l'efficacité du flux financier sous la forme de plusieurs indicateurs ; ce modèle, pour pouvoir fonctionner nécessite d'être alimenté en informations provenant du système d'information des BU composant la CLH ; cette approche permet de déterminer la consommation des coûts indirects grâce à l'évaluation des coûts de processus pour chaque BU et pour la chaîne globale. Dans ce contexte, le coût ABC de la CLH est la somme des coûts de processus dans chaque BU avec la somme des coûts directs des items fabriqués. La valeur des stocks peut être également évaluée à tout niveau de la chaîne. Le potentiel de création de valeur est aussi évalué en combinant la différence entre la demande et la quantité vendue par une BU ou par la chaîne globale avec la marge sur coûts directs. Pour pouvoir être construit dans le cadre d'une CLH, le système de valorisation ABC nécessite :

- De partir du modèle processuel construit lors de la phase précédente. Les points de désynchronisation identifiés (point de passage entre deux processus de transformation hybrides / points de discrétisation du flux) constituent, pour un niveau de granularité les « frontières » potentielles pour la construction de BU orientées processus. Ces points de désynchronisation du flux donnent également (figure 52) une indication permettant de révéler l'existence des inducteurs de coûts dans la CLH. Ces points de découplage sont aussi liés à des mécanismes de transformation de flux en lots de produits pour que la M / S puisse s'appuyer sur des SED. Ces mécanismes ont un rôle à jouer dans la définition des inducteurs. Par comparaison, dans la production discrète, il n'y a pas d'ambiguïté sur les caractéristiques physiques du produit manufacturé et donc peu de conventions à mettre en place. On possède ainsi un élément spécifique justifiant une approche différente d'un point de vue SCC entre système discret et système continu dans le cadre de la mise en place de la méthode ABC.
- De formaliser concrètement des règles de traduction pour pouvoir, à partir des systèmes existants de contrôle de gestion industriel qui sont associés à des centres de coûts par entité fonctionnelle, passer à des BU orientées processus industriels ; ceci suppose de pouvoir réaliser à partir de la balance comptable des filtres nouveaux permettant une imputation correcte des comptes de charges et de produit.

- La réalisation des deux étapes précédentes permettra ainsi de construire un modèle analytique ABC avec plusieurs niveaux de granularité (CLH / entité ou BU / produit...) tenant compte des différents types de processus de production / transformation existants (figure 53).

Le modèle que nous utilisons pour valoriser les flux est issu de PREVA. Nous l'adaptions au contexte de la CLH. La dimension Cash-Flow de la modélisation utilisée n'est pas activée dans le contexte de notre recherche. L'annexe 5 présente le contenu du modèle utilisé pour valoriser les flux à partir du couplage avec la SED.

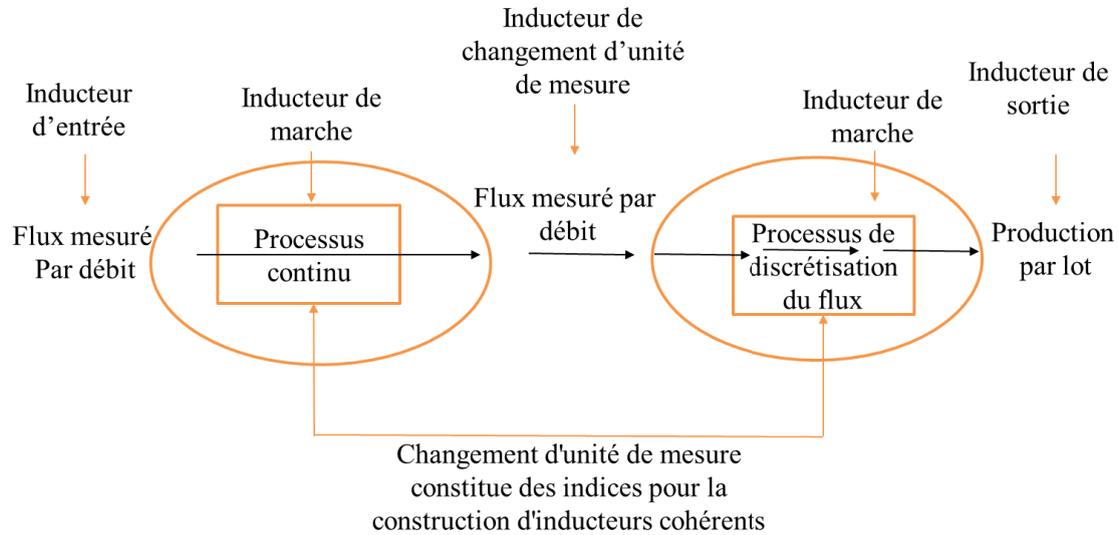


Figure 52: Point de passage du continu au discret

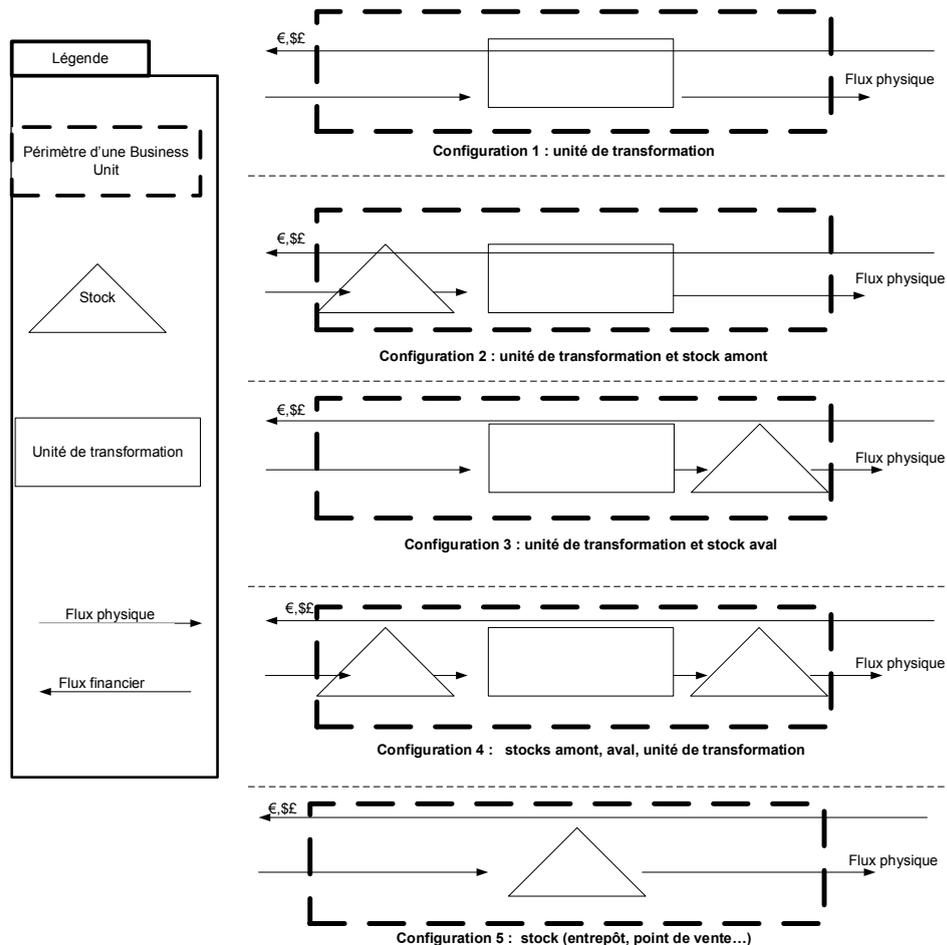


Figure 53: Les différentes hypothèses du périmètre financier d'une BU pour un niveau de granularité donnée.

3.1.3 Structuration de l'information sous la forme d'un tableau de bord

Dans une troisième étape, les résultats, sont structurés sous la forme de tableaux de bord – dans cette étape, les indicateurs de performance du flux physique et financier sont structurés sous la forme de tableau de bord correspondant à des scénarios de gestion et reprenant des problématiques décisionnelles opérationnelles et tactiques. Ainsi, par exemple, la structuration proposée lors de l'étape 2 permet de consolider et d'analyser l'information décisionnelle par rapport aux familles de produits et par BU de transformation. Les processus sont ainsi « consolidés » par BU et par famille d'items produits (bien ou service). Le tableau 9 explique ainsi la logique retenue pour la consolidation de l'information décisionnelle financière. Nous supposons ainsi que la CLH produit un ensemble de biens et services que l'on peut regrouper en famille de produits. Chaque famille de produits consomme les activités des processus P. Différentes BU sont capables de produire la même famille et sont aussi identifiés comme utilisant des processus de la même nature. Le manager de la CL a besoin d'informations par famille, processus et BU. Les indicateurs utilisés pour évaluer différents scénarii de gestion sont :

- Soient fournis par la SED ;
- Soient fournis par le couplage SED / modèle de valorisation.

Produits				Business Unit
Famille 1	Famille i	Famille m		
Processus consommés pour produire les items de la famille 1	--	--	...	BU(1) Compte de résultat pour la BU(1)
--	Processus consommés pour produire les items de la famille i dans la BU(j)	--	...	BU(j) Compte de résultat pour la BU(j)
--	--	Processus consommés pour produire les items de la famille m par la BU(r)	...	BU(r) Compte de résultat pour la BU(r)
...	
Compte de résultat pour la famille 1	Compte de résultat pour la famille i	Compte de résultat pour la famille m		Compte de résultat pour le SCC par BU processuelles et par famille de produit

Tableau 9: La construction des tableaux de bord décisionnels

4 EXTENSION DU CONCEPT D'ADVANCED BUDGETING SYSTEM (ABS) POUR LES CHAINES LOGISTIQUES HYBRIDES

Force est de constater que les APS n'intègrent ni de manière conceptuelle, ni de manière opérationnelles, les contraintes du flux financier. Nous proposons de construire ainsi une suite logicielle de type ABS [Fenies et Tchernev, 2012] à partir de l'environnement de modélisation ASCI-CLH.

Cette section présente les différentes caractéristiques de l'environnement ASCI-CLH (Analyse, Spécification, Conception et Implantation pour la Chaîne Logistique Hybride), qui permet, à l'aide des différents éléments proposés dans ce chapitre, de concevoir des suites logicielles de type Advanced Budgeting and Scheduling (ABS) pour la chaîne logistique hybride. Cette section est directement issue des propositions présentées dans [Fenies et Tchernev, 2012] et [Fenies, 2006]. Le concept logiciel d'ABS est un concept nouveau, peu mis en œuvre et les retours d'expériences, notamment sur les processus hybrides renforce l'intérêt de ce type de contenu.

Nous présentons tout d'abord l'environnement ASCI-CLH puis ensuite nous donnons les caractéristiques d'une suite logicielle de type ABS. D'un strict point de vue informatique, rien

ne distingue le contenu d'un ABS réalisé dans le cadre de processus logistiques hybrides par rapport à celui des processus discrets. Par contre, la spécification réalisée avant grâce à la mise en œuvre du processus de modélisation et notamment la phase de construction des modèles de connaissance permet d'instancier le concept d'ABS avec une orientation processus hybride. La phase critique est la phase d'analyse et de spécification : une erreur dans les recueils de connaissance et l'ensemble de processus de modélisation devient caduque par la suite.

4.1 L'environnement de modélisation ASCI-CLH

L'environnement ASCI-CLH comprend :

- un système d'évaluation des performances, noyau de l'environnement ; il permet l'élaboration d'un ou plusieurs modèles d'action en fonction des objectifs de la modélisation. Le centre du noyau est constitué par l'approche PREVA, (PProcess EValuation) qui couple un modèle analytique pour l'évaluation du flux financier de la Supply Chain avec un modèle d'action pour le flux physique de la Supply Chain construit sous Simul8. **Cette couche de l'environnement est mise en œuvre dans le chapitre 4 ;**
- une couche aide à la décision, qui permet la construction de tableaux de bord prospectifs (SCOPE, pour Supply Chain OPERations Evaluation) et leur implémentation comme outils d'aide à la décision pour la Supply Chain [Fenies et al., 2004a], ou pour un processus [Fenies et al., 2004b] ; **cette couche de l'environnement n'est pas mise en œuvre dans le contexte de l'OCP ;**
- une couche base de données, constituée par un entrepôt de données, dans lequel le modèle générique de connaissance du domaine des CLH est implanté. Cette couche permet l'accès et le stockage des données nécessaires aux outils appartenant aux différentes couches de l'environnement ; ce stockage des données constitue l'interface entre les outils de pilotage et les différents systèmes d'information des BU composant la CLH ; **cette couche de l'environnement n'est pas mise en œuvre dans le contexte de l'OCP ;**
- une couche recherche opérationnelle ; dans l'environnement sont implantées des applications permettant soit le pilotage opérationnel du système en fonction de critères financiers et physiques, soit la configuration tactique du réseau ; **cette couche de l'environnement est mise en œuvre dans le contexte de l'OCP si l'on considère que la SED est un élément de Recherche Opérationnelle** (conception américaine de la SED) ;
- une couche statistique ; cette couche permet l'analyse et le traitement des données existantes (prévisions de charge, courbes d'apprentissage) ainsi que l'étude des résultats obtenus par le noyau de l'environnement afin de pouvoir aider les managers à prendre des décisions concernant les actions possibles sur la CLH ; **cette couche de l'environnement n'est pas mise en œuvre dans le contexte de l'OCP ;**
- une couche outils graphiques et animation ; cette couche permet, lors de l'étude d'un système, d'exploiter les données et les résultats nécessaires à l'aide de techniques graphiques et d'animer en 2 D ou en 3 D le fonctionnement du modèle du système étudié ; **cette couche de l'environnement est mise en œuvre dans le contexte de l'OCP par la visualisation graphique des modèles de Simul8.**

- une couche méthodes et outils d'analyse et de spécification, réalisée à l'aide d'ARIS et d'UML ; cette couche reprend les méthodes et outils qui permettent de décrire la structure et le fonctionnement de la CLH et a été mise en œuvre dans le chapitre 4.
- une couche méthodologie de modélisation, constituée par la méthodologie de modélisation par processus multiples et incrémentiels présentée dans la section 1 du chapitre.

L'environnement de modélisation (figure 54) ne présente que les éléments visibles pour le manager. Ces éléments communiquent à l'aide de la couche Interfaces. L'environnement correspond ainsi à la notion d'atelier de Génie Logiciel pour la modélisation et l'évaluation des performances d'une Supply Chain, que celle-ci soit centrée production de biens, ou production de services. La figure 54 présente les différents outils de ASCI-SC retenus pour l'environnement de modélisation.

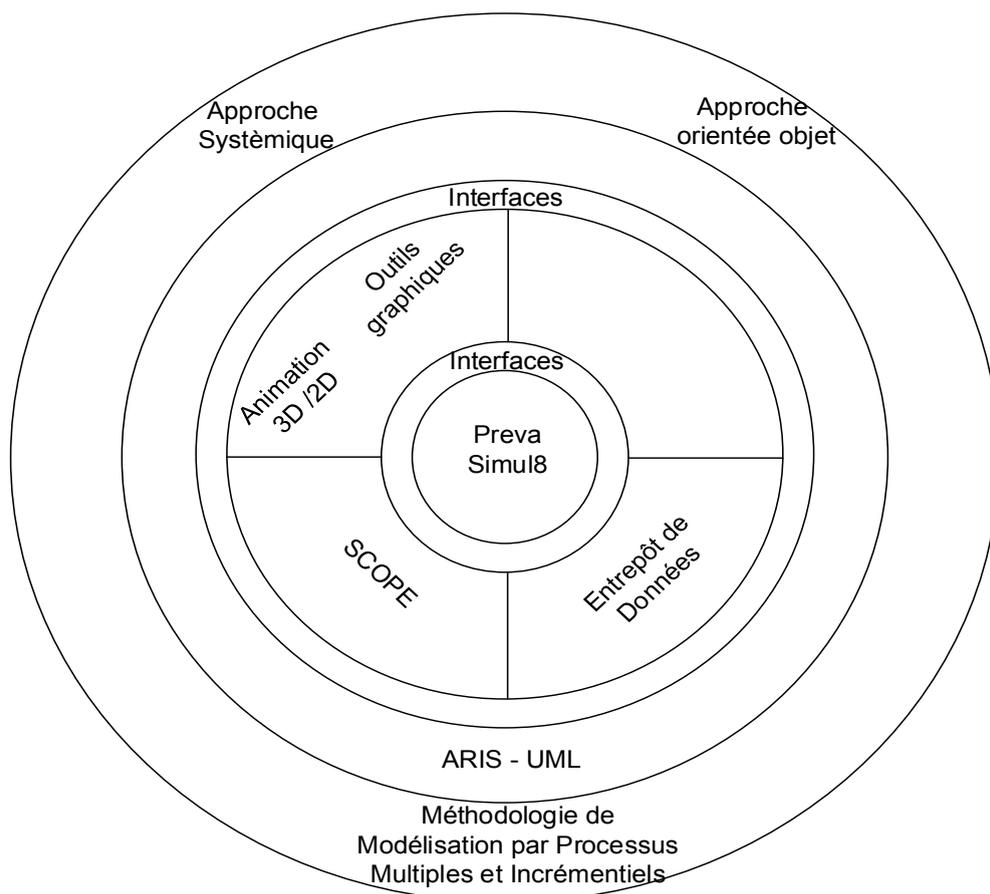


Figure 54: Etat actuel de ASCI-CLH

4.2 Les caractéristiques d'une suite logicielle de type Advanced Budgeting System (ABS)

Dans cette section nous présentons tout d'abord les caractéristiques fonctionnelles d'un ABS avant de détailler ses composants logiciels dans un deuxième temps. Cette présentation est réalisée par la synthèse de l'article proposé par [Fenies et Tchernev, 2012], article dans lequel les auteurs proposent le concept logiciel d'ABS et montrent l'usage réalisé sur la Firme M.

- i. Caractéristiques fonctionnelles :

En supposant que l'activité "budgéter" pour le flux financier est le pendant de l'activité "planifier" du flux physique, un Advanced Budgeting System (ABS) est défini par [Fenies et Tchernev, 2012] comme une suite cohérente d'applications logicielles permettant l'optimisation et l'évaluation des performances des flux physiques et financiers de la CL et combinant globalement (pour l'ensemble de la chaîne) comme localement (pour une entité) les horizons décisionnels stratégiques, tactiques, opérationnels avec les approches de modélisation macroscopique, mésoscopique et microscopique. Ces différentes applications sont connectées au Système d'Information des BU de la CLH par un entrepôt de données (datawarehouse) qui traite des données hétérogènes issues d'applications logicielles différentes pour alimenter en information les modèles prescriptifs comme descriptifs contenus dans l'ABS.

La figure 55 montre les liaisons existantes entre les différentes activités des flux physiques et financiers de la CLH, les approches de modélisation et les horizons décisionnels interagissant avec les différents modèles informatiques et mathématiques contenus dans l'ABS.

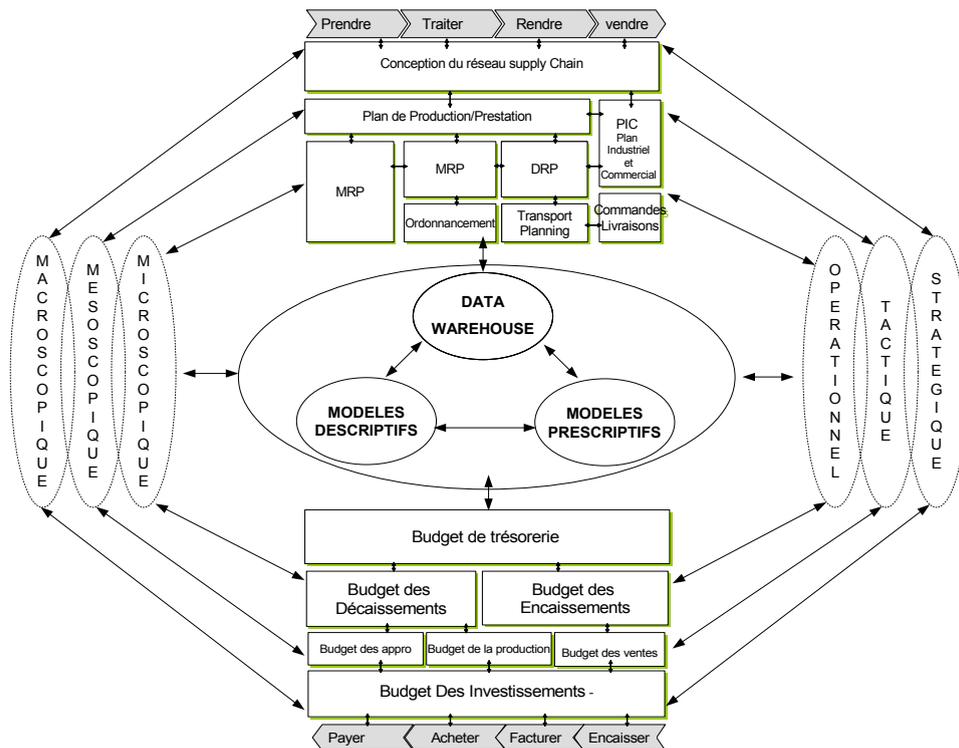


Figure 55: Une suite logicielle de type Advanced Budgeting and Scheduling

Les caractéristiques techniques et conceptuelles d'un ABS sont données dans le tableau 10 qui montre le passage d'une suite logicielle de type APS à une suite logicielle de type ABS. Si le contexte d'utilisation d'un ABS est le même (CL interne comme externe) que celui d'un APS, les fonctionnalités logicielles intègrent planification et budgétisation des activités (par exemple, choix du planning qui génère le maximum de cash-flow) et les outils de mesure de la performance utilisent des concepts plus avancés que les quelques indicateurs du flux physique. Un module décisionnel est intégré dans l'ABS qui organise l'information pour les Supply Chain managers sous forme de tableau de bord prospectif pour l'évaluation ex ante des activités.

	APS	ABS
Contexte	Supply Chain Interne et Externe	Supply Chain Interne et Externe
Fonctionnalités Conception du réseau Distribution (DRP) Production (PDP) Approvisionnement (MRP) Ordonnancement et transport	Pour le flux physique Pour le flux physique Pour le flux physique Pour le flux physique Pour le flux physique	Flux physique et financier combinés Flux physique et financier combinés Flux physique et financier combinés Flux physique et financier combinés Flux physique et financier combinés
Outils décisionnels Mesure de la performance	Quelques indicateurs du flux physique	Tableau de bord prospectif + modèle PREVA (Féniès et Gourgard, 2005)
Connexions au Système d'Information des entités composant la chaîne	Prévue	Réalisée à l'aide d'entrepôt de données (Datawarehouse)
Briques de programmation	Optimisation (Outils Cplex) et heuristiques	Couplage Optimisation/Simulation (modèles prescriptifs et descriptifs)
Plannings collaboratifs	Les plannings collaboratifs donnent aux entités de la chaîne les quantités de produits et services à produire et livrer à horizon de court, moyen et long terme pour un taux de satisfaction.	Les plannings collaboratifs donnent aux entités de la chaîne les quantités de produits et services à produire et livrer à horizon de court, moyen et long terme qui permettent de générer le plus de valeur pour les acteurs de la chaîne.

Tableau 10: D'une suite APS à une suite ABS pour la Supply Chain

Nous proposons de réaliser l'interfaçage entre le système d'information des entités qui composent la CL et l'ABS par un datawarehouse (entrepôt de données) qui permet la collecte et la sécurisation des données issues d'applications hétérogènes. Enfin, les plannings collaboratifs pour les entités et les acteurs de la CL des APS sont centrés Satisfaction Client (au sens logistique du terme) et n'intègrent pas la notion de création de valeur financière pour les acteurs qui participent au réseau CL.

Dans le contexte de notre recherche et conformément à la méthodologie de modélisation proposée précédemment, nous n'activons que les horizons tactiques et opérationnels au niveau de granularité mésoscopique et microscopique dans le cadre de la construction d'un ABS pour OCP SA.

ii. Composants logiciels de l'ABS

Pour un niveau de granularité donnée dans le cadre d'une BU, un ABS comprend un noyau applicatif (figure 56) composé des types d'applications suivantes :

- un composant recherche opérationnelle, qui comprend un couplage de modèles prescriptifs avec des modèles descriptifs. Les modèles descriptifs contiennent le modèle analytique de PREVA plus des outils logiciels de simulation. Les modèles prescriptifs contiennent des modèles d'optimisation. Le couplage des deux types de modèles avec les modèles issus de PREVA permet d'apporter une aide à la décision financière.
- un composant entrepôt de données qui permet au composant recherche opérationnelle de proposer des plannings et des budgets pour l'aide à la décision. Ce composant entrepôt de donnée stocke les informations décisionnelles provenant du composant recherche opérationnelle, mais aussi les données provenant d'autres applications qui sont nécessaires pour alimenter le composant recherche opérationnelle.
- un composant interface décisionnelle, qui présente sous la forme de tableau de bord l'information pour le décideur ; cette interface homme / machine permet au décideur

d'agir sur les modèles d'action du composant recherche opérationnelle, mais également de pratiquer des requêtes sur l'information contenue dans l'entrepôt de données.

- un composant interface avec d'autres applications qui permet de connecter l'ABS avec les autres applications logicielles de la compagnie dont dépend la BU.
- un composant collaboration qui permet de mettre à disposition les données pour la collaboration inter-organisations, mais également de collecter les données nécessaires à la mise en œuvre de la collaboration dans la CL (prévisions, plannings....). Seule l'information nécessaire à la collaboration est ainsi mise à la disposition des autres membres de la CL.

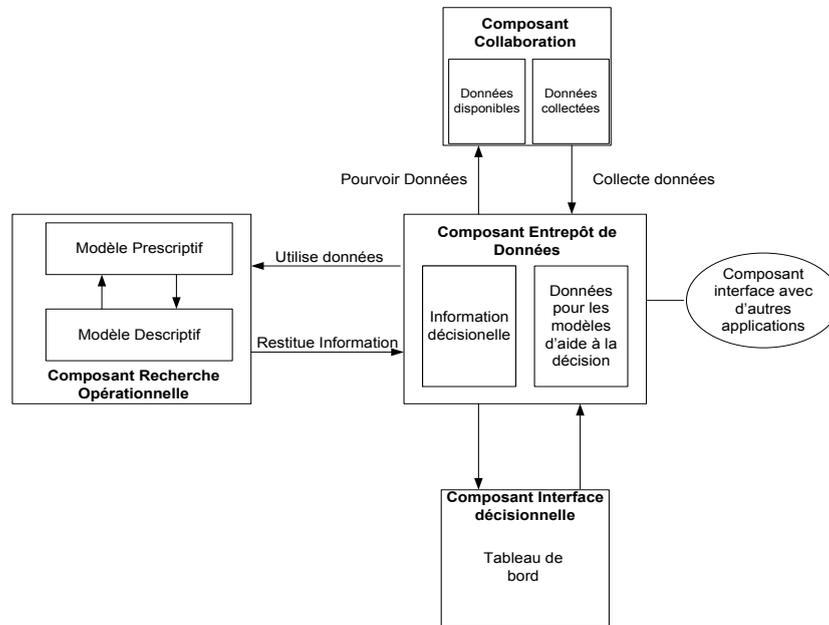


Figure 56: Les composants logiciels du noyau applicatif d'un ABS

Ce noyau applicatif peut fonctionner en autonomie sur une BU de la CL. C'est l'interfaçage avec d'autres BU qui possèdent le même type de noyau applicatif qui permet de déployer l'ABS sur toute la CL et permet d'apporter une aide à la décision suivant différents niveaux de granularité.

La figure 57 présente le déploiement des composants applicatifs sur un exemple de CL. Les données du composants collaboration des Compagnies de la CL sont stockées dans l'entrepôt de données du niveau CL, et constituent la base d'information pour faire fonctionner le composant recherche opérationnelle permettant de piloter, configurer ou concevoir l'ensemble du réseau. L'information issue du composant recherche opérationnelle (mise à jour des plannings...) est directement mise à disposition des entités faisant partie de la CL.

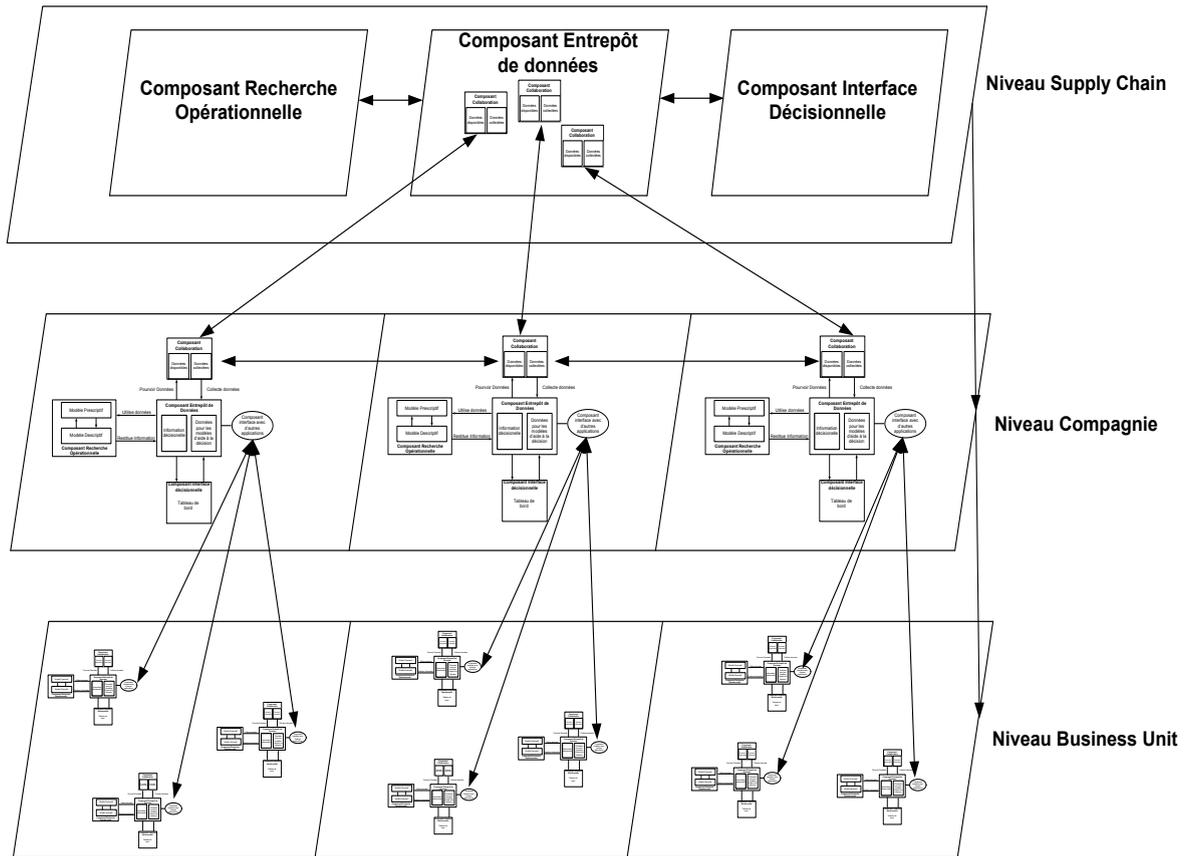


Figure 57: Déploiement du noyau applicatif de l'ABS sur l'ensemble de la CL

5 CONCLUSION

Un des points clef de l'environnement ASCI-CLH est de permettre l'étude combinée et intégrée de l'ensemble des flux de la CLH. La mise en œuvre de cet environnement permet de guider les experts en modélisation et les acteurs de la CL pour la mise en place de suites logicielles de type ABS qui constituent une évolution dans les outils logiciels pour la CL relativement aux SIAD actuels qui sont de type APS.

Nous montrons aussi que la spécificité de la CLH nécessite une approche différente de celle utilisée habituellement dans le cadre de la mise en œuvre des couplages entre ABC et la simulation car la désynchronisation des processus continus / discrets dans la CLH constitue un point de définition des inducteurs de coûts ABC et des leviers d'action associés pour le management de la CLH. C'est pour cette raison, nous avons proposé une approche qui est mise en œuvre dans le contexte de la CLH de OCP SA. Le recours à ASCI comme structure de travail nous permet de présenter ainsi ce qui est généralisable dans notre recherche sur le domaine des CLH, tout en montrant ce qui est spécifique et contextuel puisque notre recherche nous a permis de construire un ABS pour Maroc Phosphore dans le contexte de la CLH de OCP SA.

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

Table des matières

1	Contexte de la mise en œuvre	110
1.1	Problématique industrielle	110
1.2	Le processus de modélisation retenu	112
2	Analyse et spécification des flux et de la connaissance sur la CLH de l'OCP S .	113
2.1	Le sous-système physique de Maroc phosphore.....	113
2.2	Le sous-système logique de Maroc phosphore	115
2.2.1	Les flux.....	115
2.2.2	Circulation des flux dans la CLH et processus de production	115
2.3	Les flux financiers et les méthodes de valorisation actuelle du site Maroc phosphore	119
2.4	Le sous-système décisionnel de Maroc phosphore avec les règles de gestion	122
2.5	Synthèse sur la construction des modèles de connaissance pour la Supply Chain de Maroc Phosphore	128
3	Conception d'un SIAD pour Maroc Phosphore à l'aide de PREVA	130
3.1	Modèle pour le flux physique.....	131
3.2	Modèle pour le flux financier.....	133
3.3	Couplage des modèles d'action.....	137
3.4	Structuration de l'information dans un tableau de bord.....	140
4	Implantation de la démarche pour Maroc phosphore et discussion des résultats.	143
4.1	Scénarios de gestion engrais	143
4.1.1	Présentation et résultats des scénarios de gestion de la répartition de la production d'engrais sur différentes lignes.....	143
4.1.2	Scénario de gestion modifiant le régime de marche engrais.....	145
4.2	Scénarios de gestion acide	146
4.2.1	Modification du débit dans la BU Acide Phosphorique.....	146
4.2.2	Scénarios de gestion maintenance pour la BU Acide Sulfurique	146
4.3	Réflexions à posteriori sur le processus de modélisation des ateliers de Maroc Phosphore	147
5	Conclusion.....	148

1 CONTEXTE DE LA MISE EN ŒUVRE

Dans un premier temps, nous allons rappeler le contexte de notre champ de travail. Ensuite, nous allons détailler l'état actuel des systèmes de valorisation de l'OCP JORF suivi par le processus de modélisation retenu avec l'utilisation de Maroc Phosphore comme zone de test.

1.1 Problématique industrielle

La plate-forme de Jorf Lasfar est considérée parmi les blocs géants au sein du Groupe OCP SA. Elle se compose principalement des sites suivants :

- Maroc Phosphore III et IV ;
- EMAPHOS ;
- IMACID ;
- PAK-PHOS ;
- BUNGUE.

Les différentes interactions entre les sites sont illustrées dans les figures 58 et 59.

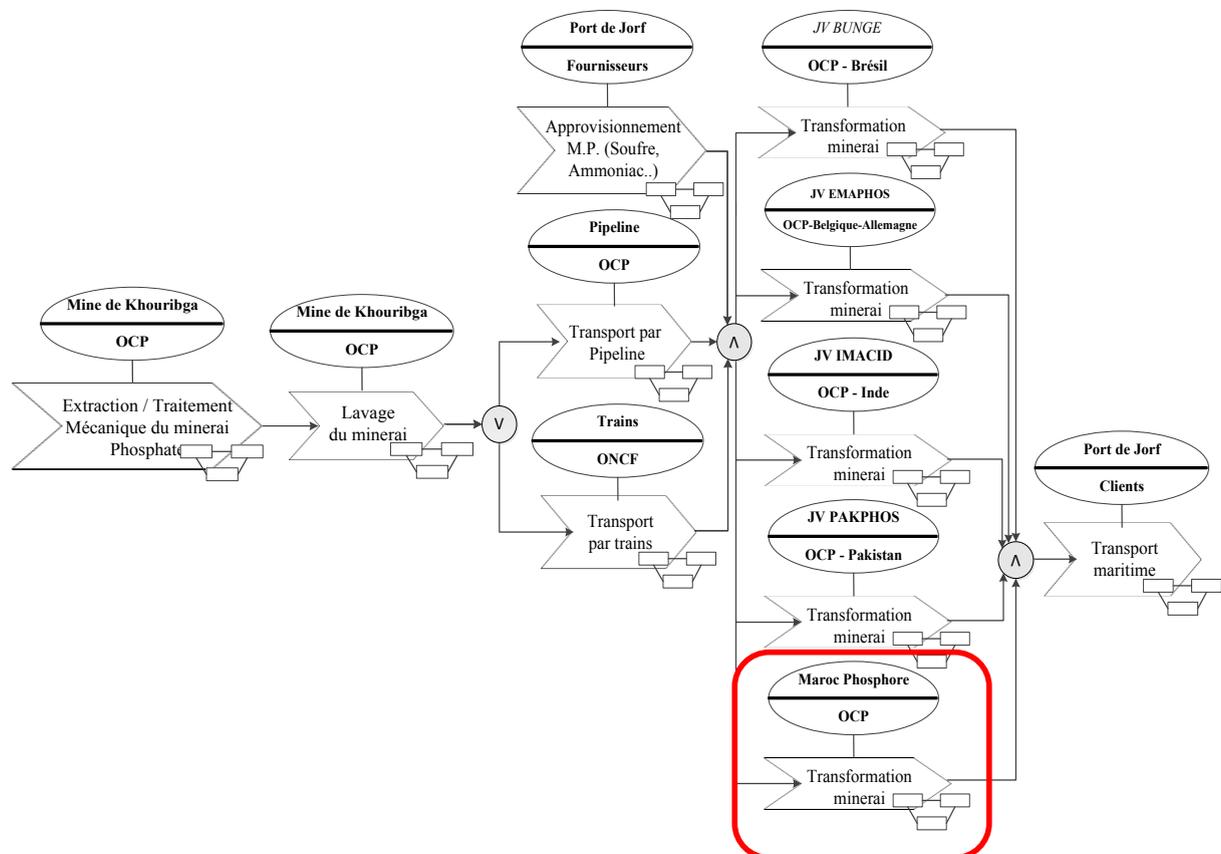


Figure 58: Modèle agrégé de la chaîne logistique OCP SA – Axe Nord

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

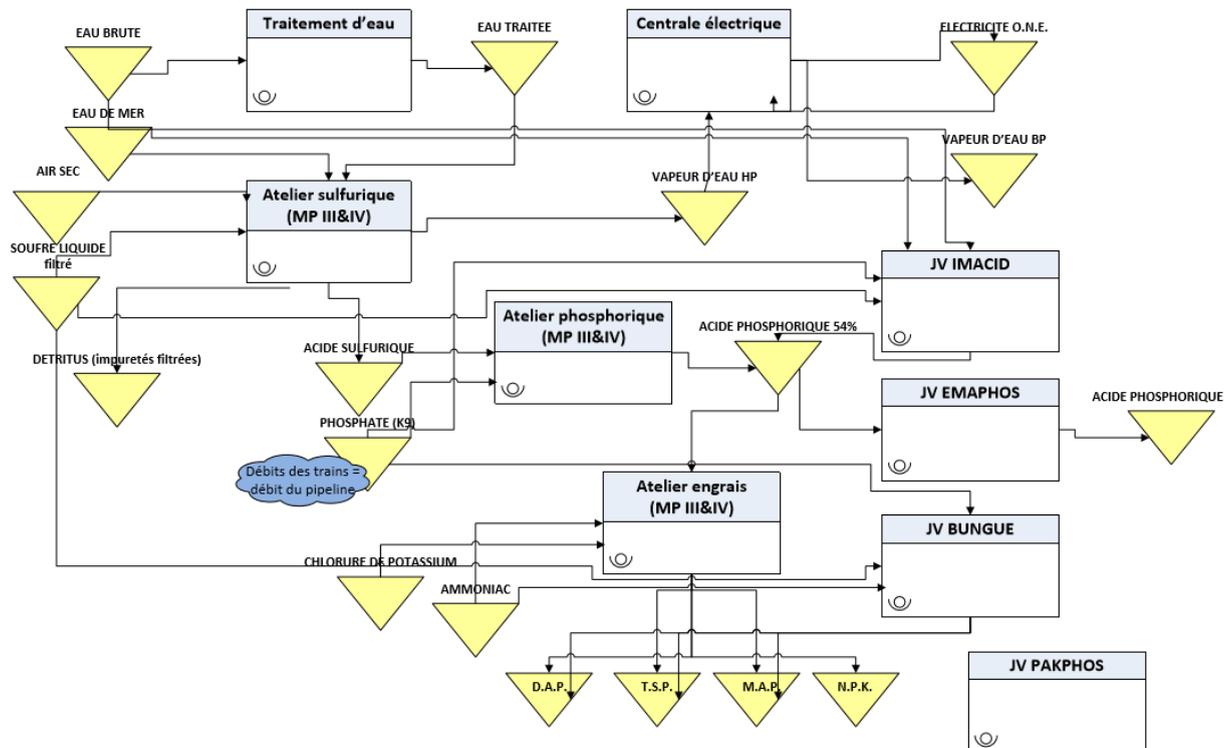


Figure 59: Infrastructure physique de la plateforme chimique JORF

Le périmètre de nos expérimentations (Maroc Phosphore) est entouré en rouge sur la CPE de la figure 58. Cette plateforme produit, à partir du phosphate arrivant essentiellement de Khourigba des engrais et de l'acide phosphorique au travers d'un processus de production réalisé dans 3 ateliers :

- L'atelier d'acide phosphorique ;
- L'atelier d'acide sulfurique ;
- L'atelier d'engrais.

La volonté de l'OCP SA de produire plus de 37 types d'engrais (contre quelques références au début de notre travail de recherche) se traduit par une explosion d'alternatives décisionnelles opérationnelles et de problèmes de valorisation économiques qui s'enchaînent en cascade.

Ainsi, relativement à l'atelier d'engrais, plusieurs alternatives décisionnelles nécessitent un éclairage économique pour pouvoir améliorer la prise de décisions opérationnelles :

- Lorsque le système n'est pas saturé, a-t-on intérêt à mettre la production sur une ligne supplémentaire (ouvrir une ligne de production) ou à augmenter la cadence le régime de marche) ?
- Les plannings de maintenance programmée des lignes impactent –ils la production et le coût de production unitaire ? Existe –t'il d'autres plannings qui auraient une efficacité équivalente et permettant d'améliorer les rendements et la capacité ?
- Les commandes d'engrais sont-elles affectées sur les lignes qui permettent de réduire au maximum les coûts de fonctionnement de l'atelier d'engrais ?
- L'augmentation de la variété produit affecte t'elle les coûts de fonctionnement et de production de l'atelier ?

Relativement à l'atelier d'acide sulfurique, ce fonctionnement se traduit par :

- la production d'acide sulfurique ;
- la production d'énergie (le processus de production d'acide sulfurique génère de la vapeur qui est transformée en énergie) qui est renvoyée dans le processus de production de Maroc Phosphore, voire aux autres JV du site. Or dans les processus de valorisation de cette activité, au début de notre étude, le système de valorisation considérait que l'atelier d'acide consommait de l'énergie sans prendre en compte la production issue de ce processus dans la valorisation. Cet atelier n'aurait-il pas intérêt de se transformer en producteur d'énergie ? Faut-il abaisser les coûts de production de cet atelier en tenant compte de la production d'énergie réutilisée dans le système de production ?
- l'atelier d'acide phosphorique produit des acides qui sont soit utilisés par l'atelier d'engrais, soit revendus aux autres JV soit revendus sur le marché à des clients externes. Cet atelier a-t-il intérêt de produire pour Maroc Phosphore ou pour les autres JV ou pour les clients externes ?

Le système de valorisation actuel, dont la description est donnée dans la section 2 ne permet pas de répondre à ces alternatives décisionnelles par un éclairage économique.

1.2 Le processus de modélisation retenu

Le processus de modélisation retenu dans le cadre de notre travail est une instanciation du processus de modélisation ASCI-CLH présenté dans la section 2 du chapitre 2. Il est constitué de quatre étapes :

- Analyse : cette étape est basée sur différentes interviews avec les responsables de contrôle de gestion, les responsables de flux, les techniciens ainsi que les chefs de chantiers, sur des comptes rendus de différentes réunions. Ceci a été fait en se déplaçant sur site une trentaine de fois.
- Spécification : nous avons créé différentes cartographies à partir de la première étape, ensuite, nous avons structuré l'information en trois sous-systèmes : le sous-système physique, le sous-système logique et le sous-système décisionnel.
- Conception : à l'aide de différentes briques logicielles, nous avons créé un modèle de simulation, un modèle de valorisation, et deux interfaces de couplages entre les résultats de simulation et les résultats de coûts.
- Implantation : nous avons testé différents scénarios de gestion acide et engrais.

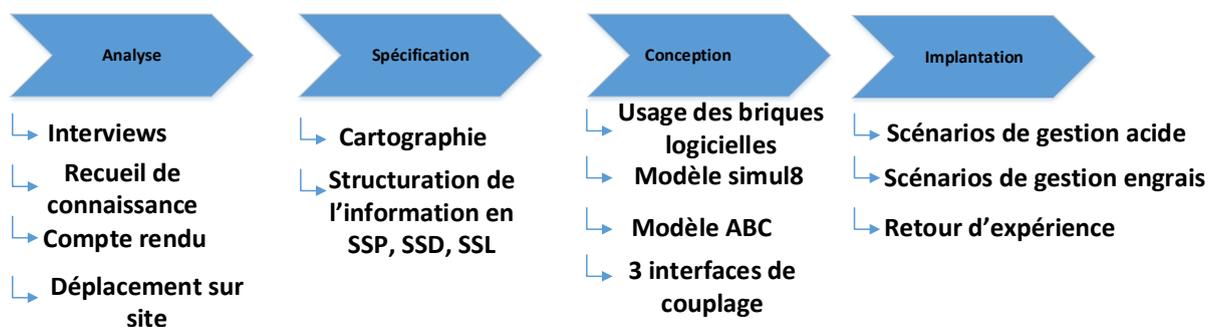


Figure 60: ASCI-CLH mis en oeuvre pour OCP SA

2 ANALYSE ET SPECIFICATION DES FLUX ET DE LA CONNAISSANCE SUR LA CLH DE L'OCP SA

Le modèle de connaissance générique pour une classe de système (un domaine) se décompose en trois sous-systèmes :

- Le sous-système physique (SSP) qui est constitué de l'infrastructure du système
- Le sous-système logique (SSL) qui représente toutes les entités de flux (financiers, humains, matériels)
- Le sous-système décisionnel (SSD) qui contient les règles de gestion et de pilotage des moyens physiques et agit sur le sous-système logique et le sous-système physique (règles de gestion, d'attribution des ressources, d'attribution des moyens de transport...) pour assurer la gestion et la maîtrise des processus afin de satisfaire les objectifs du système

La démarche adoptée dans la méthodologie de modélisation préconise donc de décomposer de manière systémique toute SC en trois sous-systèmes L, P et D complémentaires.

2.1 Le sous-système physique de Maroc phosphore

A. Atelier sulfurique

Il se compose de six unités de production d'acide sulfurique de capacité 2.650 tonnes par jours chacune.

La production de la vapeur HP au niveau des unités sulfuriques s'effectue par un échange thermique entre l'eau alimentaire et la chaleur dégagée par la combustion produite au niveau des chaudières de récupération par la succession des réactions suivantes :

- **Combustion dans les fours** : $S (L) + O_2 \rightarrow SO_2 + Q$
- **Conversion en SO₃** : $SO_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow SO_3 + Q$
- **Absorption** : $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + Q$

NB : Cette réaction de création de l'acide sulfurique est une réaction exothermique.

B. Atelier phosphorique

L'atelier phosphorique est composé de 8 lignes de production d'acide unitaire de 500 t/j de P₂O₅ et de 20 échelons, concentration de 29% à 54% en P₂O₅, de 300 t/j chacune, 8 unités de broyage de phosphate, de capacité unitaire 150 t/h, de décanteurs de sursaturation et de bacs de stockage.

C. Atelier d'engrais

Cet atelier est composé de 5 unités de production de DAP dont deux peuvent produire du TSP, MAP et NPK (azote de phosphate potassium) :

- Capacité en DAP (Di ammonium phosphate): 1400t/j/unité

- Capacité en TSP (Triple Super Phosphate): 1100t/j/unité
- Capacité en MAP (mono ammoniac phosphate): 1200t/j/unité

D. Atelier des utilités

Cet atelier assure l'alimentation des différents ateliers de production en énergie et fluides. Il comprend :

- Une centrale thermoélectrique avec 3 groupes turboalternateurs de 37MW chacun
- Une réserve d'eau douce et une station de traitement de 2000m³/h
- Une station de compression d'air

E. Le port

Le port est la fenêtre du pôle sur le monde, il utilise la plupart des quais pour ses différentes opérations. L'office importe le soufre et l'ammoniac et exporte le phosphate, l'acide phosphorique concentré et purifié et les engrais de différentes qualités.

Le port contient entre autres :

- Deux hangars de stockage de soufre solide
- Une unité de fusion filtration de soufre
- Trois Bacs de stockage de soufre liquide
- Un bac de stockage d'acide sulfurique
- Deux bacs atmosphériques de stockage d'ammoniac
- Une station de filtration et de pompage d'eau de mer
- Une station d'ensachage des engrais destinés à l'exportation.

En ce qui concerne les superstructures portuaires, elles peuvent être divisées en deux parties: des structures destinées pour le déchargement et d'autres destinées pour le chargement.

- Déchargement :
 - Deux portiques pour les importations en soufre solide
 - Un bras de déchargement pour les importations en soufre liquide
 - Un bras de déchargement pour les importations en ammoniac
 - Un bras de déchargement pour les importations en acide sulfurique.
- Chargement :
 - Deux portiques pour les exportations du phosphate
 - Quatre portiques pour les exportations des engrais en vrac
 - Deux portiques pour les exportations des engrais en sac
 - Deux bras de chargement pour les exportations de l'acide phosphorique marchand
 - Un bras de chargement dédié aux exportations d'acide phosphorique purifié.

F. Unité de stockage

C'est une grande installation située entre le port et l'usine centrale nommée Unité 51&53. L'unité 51 est destinée pour le stockage du soufre (douze bacs pour le stockage de soufre liquide), tandis que l'unité 53 sert au stockage d'acides (quatorze bacs pour le stockage de

l'acide phosphorique, deux bacs pour le stockage d'acide purifié), au stockage d'engrais (sept hangars) et au stockage du phosphate (quatre hangars).

2.2 Le sous-système logique de Maroc phosphore

2.2.1 Les flux

Le sous-système logique de Maroc phosphore est composé de différentes matières premières, de produits intermédiaires (finis), de fournitures internes, de prestations internes et de matières auxiliaires (tableau 11).

Matières premières	Soufre solide, soufre liquide, phosphate, ammoniac, KCL
Produits intermédiaires (finis)	Soufre solide déchargé, soufre liquide, phosphate broyé, H ₂ SO ₄ , ACP29, ACP NCL et ACP CL
Fournitures internes	Energie électrique, vapeur, eau brute, eau traitée, air comprimé, eau de mer
Prestations internes	Mécanique, Electrique, Régulation, Génie civil, autres
Achats consommés de matières & fournitures hors matières premières	Pièces de rechange, matières auxiliaires & consommables, fuel, eau brute et électricité, Achats de travaux
Produits finis	DAP, MAP, TSP, NPK, NPS, H ₂ SO ₄ , ACP 29, ACP 54 NCL, ACP 54 CL

Tableau 11: Liste des matières premières, produits semi finis et produits finis

2.2.2 Circulation des flux dans la CLH et processus de production

Dans le cadre de notre recherche, nous avons créé un modèle processuel et détaillé de toute Maroc Phosphore qui permet à la fois de concevoir les modèles de simulation des flux physiques de la CLH mais aussi une modélisation ABC de la création de valeur des entités composant la CLH.

A. Production d'acide sulfurique :

Le soufre solide, arrivé au port, fait l'objet de stockage au niveau des hangars. La fusion du soufre solide utilise des fondoirs. On obtient dès lors le soufre liquide qui passe ensuite par des filtres visant à réduire ses impuretés. Le stockage du soufre liquide au niveau du port utilise 3 bacs. Ces 3 bacs alimentent l'unité U51 qui contient 12 autres bacs servant de stockage principal. L'unité U11 sert comme premier stockage au niveau de l'usine. Elle comprend 2 bacs et une fosse. Cette fosse est liée aux unités de production de l'atelier sulfurique par 9 pompes émergentes. 6 de ces pompes sont principales et alimentent en permanence l'atelier sulfurique. Les 3 autres pompes font guise de réserve et remplacent les principales en cas de panne. Les 6 pompes principales alimentent les 6 unités de production à raison d'une pompe par unité. Les 3 secondaires alimentent chacune 2 unités.

Il est à souligner au niveau de l'atelier sulfurique 3 procédés principaux : La combustion, la conversion et l'absorption. En parallèle, on note 3 circuits essentiels : Le circuit gaz, le circuit énergétique et le circuit acide. Ces circuits sont présents au niveau de l'ensemble des 6 unités de transformation. La première des étapes au niveau des 6 unités de production est la filtration de l'air via les filtres à air. Comme précédemment cité, ce filtrage a pour but de réduire les impuretés de l'air. Cet air est ensuite projeté dans une tour de séchage afin de neutraliser son humidité. Cette dernière, en effet, risque d'altérer le convertisseur. Après, l'air sec est aspiré par des turbosoufflantes pour permettre ensuite le passage aux fours. Le soufre liquide regagnant les fours épouse l'oxygène obtenu de l'air sec pour donner le SO₂.

Cette réaction qui est en fait une « combustion » se passe dans une température de 1170°C. Ensuite, le SO₂ entre dans des chaudières de récupération où il perd sa chaleur en contact avec l'eau, et ce via des échangeurs. Sa température baisse, le gaz SO₂ pénètre des filtres à gaz afin de réduire ses impuretés, puis arrive finalement au convertisseur. Le convertisseur est une enceinte de 4 étages ou « masses ». L'accès et l'activation du convertisseur nécessitent une température maximale de 420°C. Dans chaque masse du convertisseur, existe une quantité du catalyseur P₂O₅ ou le pentoxyde de vanadium.

C'est une réaction partielle, c'est également une réaction exothermique, qui dégage de la chaleur. Cette chaleur dégagée, les masses du convertisseur étant parfaitement fermées, le gaz se réchauffe jusqu'à ce qu'il atteigne la température de 640°C, température qui détériore le catalyseur et arrête donc la réaction voulue. Pour cette raison, le SO₃ partiel ressort de la première masse, entre en phase de refroidissement grâce à un échangeur, puis pénètre la deuxième masse pour un pourcentage de SO₃ plus élevé. Il en est de même pour l'entrée à la troisième masse. Cependant, après sa sortie de la troisième masse, le SO₃ (90%) entre dans une tour d'absorption intermédiaire. Finalement, on arrive à la quatrième masse où le même processus a lieu. Le SO₃ obtenu en fin de compte est refroidi pour pénétrer les tours d'absorption, ces dernières exigent une température d'accès maximale de 200°C. Dans ces tours se passe l'absorption.

B. Production d'acide phosphorique :

Le phosphate brut est reçu de Khouribga par voie ferroviaire et par pipeline

Il est ensuite transporté après le quai via des convoyeurs à un hangar. Au-dessous de ce hangar, un tunnel permet de transporter le phosphate par le biais de 2 couloirs. Le premier jette dans le convoyeur UE1 et le deuxième dans le convoyeur UE2. Ces deux convoyeurs vident le phosphate transporté dans une salle de jetée, à son tour alimentant 2 trémies via 2 convoyeurs UF1 et UF2. Ces deux trémies se trouvent une au nord, l'autre au sud. Elles ont une capacité chacune de 500 tonnes. La production dispose de 8 lignes, 5 lignes sont dites de REVAMPING (A, C, D, X, U) et les 3 autres de ROHN-POULEN (B, Y, Z). Les premières ont une cadence supérieure.

Chaque ligne dispose d'un broyeur et de trois élévateurs (T01, T13 et T19), le phosphate, une trémie alimente 4 lignes de production. Au-dessous de chaque trémie, il existe un extracteur vibrant qui permet de déplacer le phosphate, ce dernier ne pouvant le faire qu'à travers une pente ou par agitation (vibration). Le phosphate une fois extrait coule dans une bande transporteuse T03. Cette bande permet de jeter le phosphate extrait dans un déferailleur dont l'objectif est d'ôter les morceaux de ferraille accompagnant le phosphate extrait, et ce à l'aide d'un aimant dont il est muni et dont il se sert à travers un mouvement de rotation. Dans un

second temps, la bande alimente un élévateur à godets T04. En effet, cet élévateur est activé par un moteur et permet d'envoyer le phosphate vers T05, un couloir vibrant. Ce couloir vibrant laisse passer le phosphate à travers 2 cribles S01 et S02. La quantité qui n'a pas été criblée tombe dans un deuxième couloir vibrant lui aussi se trouvant au-dessus de deux cribles S03 et S04. Dans ces 4 cribles, on retrouve des grilles. De ces grilles, seul le phosphate broyé passe. Le reste passe dans le broyeur B01.

Le phosphate passant se retrouve dans un Redler T10, c'est un caisson qui permet de déplacer le phosphate vers T13, un élévateur à godets. Le phosphate monté au-dessus à travers l'élévateur se projette dans le Redler T22, ce dernier en liaison avec le silo et le dosomètre.

Le silo est caractérisé par une hauteur utile de 12 mètres et d'un diamètre de 12 mètres également. Il est alimenté comme on vient de l'énoncer par le Redler T22 muni de deux étages. Le phosphate stocké dans le silo, une pompe de fluidisation aspire l'air atmosphérique humide, le sèche grâce à la batterie dont elle dispose et projette l'air dans le silo pour agiter le phosphate y étant stocké. Ce phosphate agité atterrit dans T16. C'est un aérogليسseur qui contient des entrées d'air permettant de glisser le phosphate en plus de la pente dont il est doté. T16 alimente ensuite T13 pour faire remonter le phosphate vers T22.

Le phosphate qui ne passe pas à travers les cribles passe dans le broyeur. Ce broyeur est un corps cylindro-conique. En effet, il dispose d'une forme cylindrique avec des côtés coniques. Le broyeur B01 contient des boulets dont le diamètre est de 30 ou 40mm. Ces boulets s'usent à travers le temps, ce qui pousse à les changer à long terme pour ne pas compromettre la qualité du phosphate broyé. La charge de ce broyeur est de 40 tonnes. Les boulets se trouvant dans les parois du broyeur tombent en chute à cause du mouvement de rotation. Elles écrasent donc le phosphate et permettent de le broyer. Le phosphate broyé sort du broyeur pour rejoindre T19 (un élévateur). Il coule ensuite dans T13 puis continue le processus normal comme précédemment cité.

Le phosphate se trouvant dans T22 passe dans un dosomètre pour ensuite passer dans l'unité U03 où il subit l'attaque et la filtration.

Chaque unité U03 (de chaque ligne) contient 3 sections. L'attaque qui est la première section contient une cuve d'attaque alimentée par le phosphate de T22 venant de l'unité U02 et par l'acide sulfurique (98%). Avant de passer dans la cuve d'attaque, le phosphate broyé passe dans une trémie tampon puis dans un dosomètre permettant de déterminer son débit. Dans la cuve d'attaque, des réactions chimiques permettent de combiner le phosphate broyé, l'acide sulfurique et l'acide fort qu'on traitera postérieurement. Ce mélange donne lieu à une bouillie, cette bouillie est obtenue après agitation du mélange à l'aide d'agitateurs dont dispose la cuve d'attaque. C'est une réaction exothermique qui dégage de la chaleur. De ce fait, un assainissement (2^{ème} section) s'impose. Les gaz chauds sont ensuite aspirés par un ventilateur (vapeur d'eau, fluor, gouttelettes d'acide...). Cette section d'assainissement est alimentée par l'eau de procédé (brute). Les gaz passent dans une haute où les gaz sont lavés et où les calories sont récupérées via un échangeur, puis dans une tour où un deuxième lavage a lieu. Finalement, ces gaz assainis sont projetés dans l'atmosphère via une cheminée.

L'eau contenue dans la tour, tombe par gravité dans sa base puis se retrouve dans un bac de reprise communiquant avec la tour. La pompe de reprise 09 de reprise alimente la section filtration.

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

La bouillie, quant à elle, obtenue via la cuve d'attaque passe dans une cuve de passage par débordement. Une pompe aspire la bouillie de la cuve de passage pour la refouler dans le filtre UCEGO. Le filtre comporte 6 secteurs :

- Pré secteur ;
- Secteur fort ;
- Secteur moyen ;
- Secteur faible ;
- Secteur d'extraction du Gebs ;
- Secteur de lavage des toiles.

La bouillie contenant des grains solides (geps) et de l'acide fort passe dans le pré secteur. L'essorage a lieu dans le deuxième secteur. L'eau se combine à l'acide fort pour obtenir un acide faible. Cette dernière remonte pour obtenir de l'acide moyen après réaction avec l'eau. L'acide fort descend pour être stocké. Au niveau du filtre, la pompe exerce son effet pour créer un vide. Cette pompe à vide est liée à un circuit à vide où un dévésiculeur a pour but de séparer les gouttelettes de l'acide (en plus des gaz). Ensuite l'ACP29 passe dans un laveur à eau de mer. Ce dernier permet de séparer les gouttelettes de l'eau de mer des gaz. Le dernier secteur, en l'occurrence, le secteur de nettoyage des toiles est lié à une pompe dont la pression est de 10 bars. Il s'agit d'une pompe à haute pression. Le secteur extraction de GEPS permet quant à lui d'extraire le GEPS à l'aide d'une trémie à GEPS alimentée en eau de mer. Pour les lignes ROHN-POULEN, la capacité de production est de l'ordre de 500 tonnes par jour. Pour les lignes REVAMPING, la capacité de production est de 750 tonnes par jour. Afin d'augmenter la capacité de production des lignes ROHN-POULEN, on ajoute un digesteur flash couleur, une pompe de circulation et un circuit à vide. Dans le digesteur, l'acide sulfurique est combiné à l'acide fort puis refroidi dans la pompe à vide. Ensuite, il passe dans la cuve d'attaque où 10 agitateurs périphériques permettent de disperser la bouillie en vue de la mettre en contact avec l'air. L'ACP29 est un produit marchand. Cependant, la concentration permet d'obtenir un ACP54 non clarifié d'une valeur supérieure. Ce travail se passe dans l'unité U04.

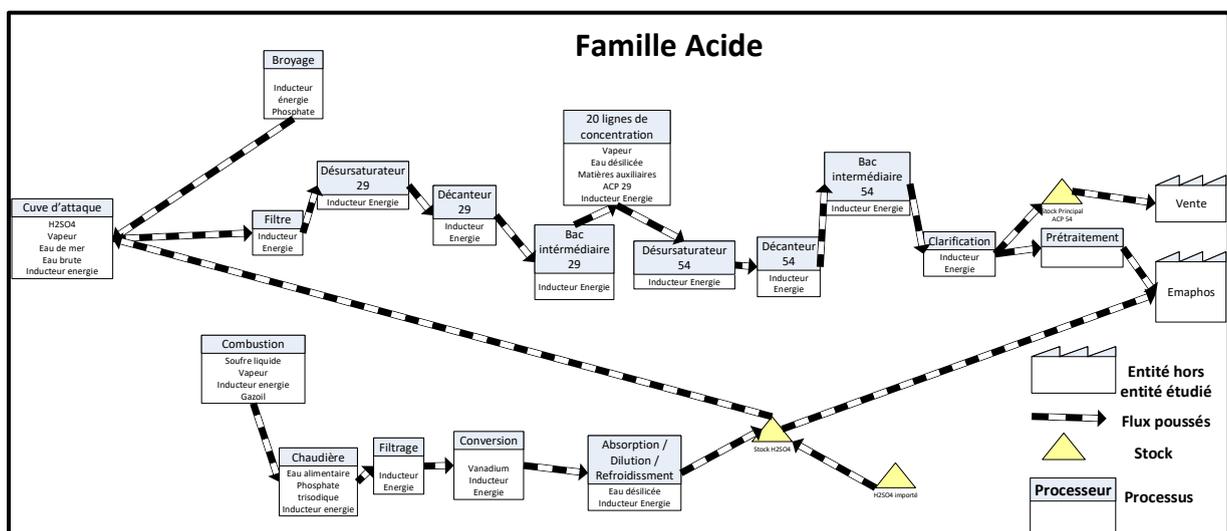


Figure 61: Modèle processuel de la famille ACIDE

C. Production des engrais :

L'acide phosphorique, l'acide sulfurique et le liquide de lavage réagissent avec l'ammoniac dans le préneutraliseur jusqu'à ce qu'il atteigne un rapport molaire de 1,5. Ensuite, la bouillie est acheminée au granulateur afin de réagir avec l'ammoniac pour obtenir une qualité appropriée. La bouillie de phosphate d'ammonium est pulvérisée sur un endroit de matière sèche recyclée. Le mouvement de rotation du granulateur permet une distribution de la bouillie uniformément sur la surface des granulés, et produit une couche de granulés très uniformes, durs et bien arrondis. Ensuite, l'ammoniac liquide est pulvérisé sous l'endroit de solides en rotation et réagit avec la bouillie réduisant ainsi la quantité d'eau pour donner des granulés avec une teneur en eau de 2-3 %. Par la suite, le produit s'achemine directement vers le sécheur par l'intermédiaire d'une goulotte spécialement conçue pour minimiser le bouchage et éviter les éventuels dommages causés par le contact des conduites de gaz chauds provenant de la chambre de combustion.

Le séchage consiste à diminuer l'humidité des engrais produits afin d'éviter les phénomènes de colmatage et de prise en masse du produit fini.

L'opération du criblage consiste à extraire par le criblage le produit marchand contenu dans le tout-venant, les gros vers les broyeurs et les fines sont recyclés dans le granulateur, ensuite l'opération du broyage des gros venant de la section criblage qui regagne la bande T02 pour être recyclé vers le granulateur suivi par le refroidissement et l'enrobage par un anti-mottant du produit azoté (DAP, MAP et NPK).

Ce processus est réalisable sur :

- lignes de type 07 qui sont appelées anciennes lignes.
- 3 lignes de type 107, dites nouvelles lignes qui ont une capacité supérieure aux lignes 07.

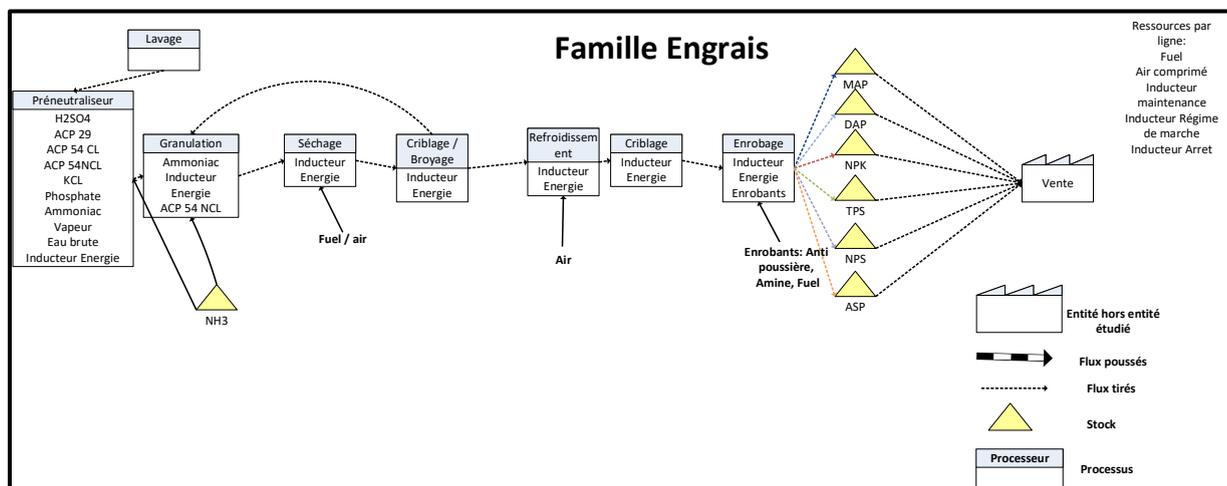


Figure 62: Modèle processuel de la famille ENGRAIS pour une ligne de production

2.3 Les flux financiers et les méthodes de valorisation actuelle du site Maroc phosphore

Le Groupe OCP SA s'est doté depuis 2003 d'un système d'information fiable et évolutif, c'est le projet NETPHOS ; produit d'Oracle. La généralisation de ce système à l'ensemble du Groupe a permis l'intégration de tous les métiers. L'information est, par conséquent, traitée de la même manière pour toutes les entités appartenant au périmètre du projet NETPHOS.

Les domaines concernés par le projet NETPHOS sont les suivants :

- Finances et comptabilité ;
- Gestion de la maintenance et de la logistique ;
- Gestion des ressources humaines ;
- Gestion commerciale ;
- Gestion de la production.

La méthode utilisée est celle des coûts complets qui est bien assainie avec une vision d'ABC, et aussi la méthode des coûts partiels qui renforce la méthode des coûts complets par une analyse minutieuse. La méthode est donc l'objet d'amélioration faite grâce à une analyse minutieuse des activités, l'objectif est de ne considérer comme frais généraux que les activités qui sont liées au fonctionnement de l'administration, alors que les activités dites de « support : garage, véhicules et engins, sécurité, ateliers centraux... » sont considérées comme des activités mesurées et qui sont imputées aux produits directement, ce qui a réduit considérablement les imputations arbitraires des charges indirectes et par conséquent minimisé les répartitions et réduit l'impact des frais généraux.

Dans le paragraphe de cette section, nous allons décrire les différentes étapes pour aboutir à un coût de revient par le biais de l'analyse des écarts et l'analyse des charges.

1. Les différentes étapes de calcul de coût : Fichier Base

- Prestations

Les sections (Maintenance électrique, mécanique et régulation) sont des entités auxquels sont associés des unités d'œuvres. Chaque entité envoie à la fin de chaque mois un état qui illustre les unités d'œuvres consommés par eux-mêmes, par les utilitaires et par les ateliers de production.

- Utilités :

Les sections (centrale, vapeur, eau brute, eau désilicée, air comprimée et eau de mer) sont des entités auxquels sont associés des unités d'œuvres. Chaque entité envoie à la fin de chaque mois un état qui illustre les unités d'œuvres consommés par eux-mêmes, par les prestataires et (FG et STK-usine) et par les ateliers de production.

- Production :

Le bilan de production comporte toutes les réalisations techniques du mois et fin mois ; productions, consommations, importations, exportations et les stocks de tous les produits finis, produits intermédiaires et matières premières. Ces informations sont saisies mensuellement dans le fichier Excel réservé à cet effet, ces données sont archivées, ce qui permet de les exploiter à tout moment.

- Matières :

Dans cette feuille, sont saisis les matières premières importées et livrées localement chaque fin du mois (quantité et prix).

2. Les différentes étapes de calcul de coût : Fichier Calcul

Le calcul se fait au niveau du fichier Excel ; « Calcul CR_xxxx » dans la feuille « It_xxx ». Le but est de résoudre le système à plusieurs équations et inconnues suite à des prestations réciproques entre certaines activités. Cette résolution se fait par itération. Après le contrôle de toutes les informations, le calcul est lancé automatiquement par activation d'une macro. Le

résultat donne les coûts réels de toutes les activités support et utilités. Ces coûts sont imputés aux activités de production selon le nombre d'unité d'œuvre consommés par chaque activité de production.

- **Balance :**

A partir du "NETPHOS", ils procèdent à l'extraction des informations financières de la Balance du module "GL" General Ledger, cette balance est le résultat d'une centralisation de plusieurs modules,

Dans un deuxième temps, toutes ces données sont regroupées par stade et par nature de charge

- **Calcul-itératif :**

Le but de cette partie est de résoudre le système à plusieurs équations, la méthode utilisée est le calcul itératif. Comme les ateliers prestataires/utilitaires travaillent pour les ateliers de production d'une part, et d'autre part il y'a une réciprocité entre eux (prestataires/utilitaires) ; le calcul itératif sert à déterminer les coûts exacts de ces ateliers (prestataires/utilitaires) afin d'imputer à chaque atelier de production sa part (UO/HT) (livrée /travaillée).

- **Structure des charges :**

Ensuite, ces données sont encore formulées dans la feuille structure des charges. Nous remarquons qu'une partie des charges est imputée directement, d'autres sont réparties par clé.

3. Coût complet :

Les coûts complets des activités pour chaque BU sont déterminés et présentés selon la granularité recherchée (par famille de produits).

Pour les activités support et utilités chaque stade consomme les quantités où le nombre d'unités d'œuvre dont il a besoin et qui lui sont imputées directement.

La CL de l'OCP SA s'est basée sur transformation continue et discrète, qui donne naissance à une succession d'activités ; les produits de certaines activités sont des matières premières pour les suivantes. Pour le coût complet chaque activité est indépendante de l'autre. Le coût d'une activité (produit) sert du prix d'entrée (d'achat) à la fabrication du produit suivant. Ce qui revient à dire que ces produits ne sont que des produits intermédiaires pour les produits finis définitifs. La détermination du coût complet avec sa granularité détaille la nature des charges et l'activité directement consommée pour un produit. Puisque, nous pouvons connaître l'activité qui impacte le coût par famille avec une granularité mensuelle, cette analyse permettra donc d'agir rapidement pour améliorer la performance, c'est à dire réagir à court terme.

4. Coût partiel :

La détermination des coûts partiels ce n'est que la validation du coût complet pour une activité donné. Le fait que les coûts partiels intègre plusieurs activités en même temps, rend difficile de savoir quelle est l'activité qui impacte le coût, généralement la décision est à long terme pour réagir.

Nous remarquons à la fin que les deux méthodes donnent le même résultat selon l'approche que nous avons choisi.

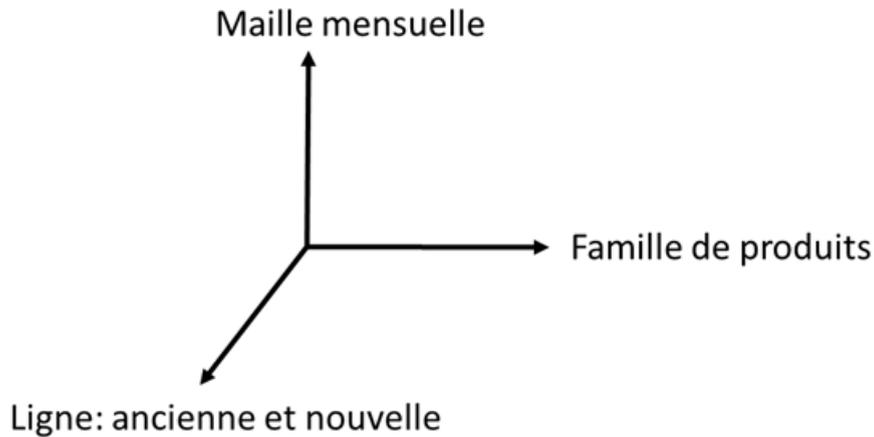


Figure 63: Coût complet / Coût partiel

2.4 Le sous-système décisionnel de Maroc phosphore avec les règles de gestion

Dans le cas de l'OCP, plusieurs règles de gestion sont mises en place pour le bon déroulement de la production et la maîtrise du processus logistique afin de satisfaire les objectifs. Parmi ces règles, nous avons : la demande d'échange, les maintenances, vente des engrais et autres produits par camions

Règle1 : Demande d'échange :

- Le processus démarre par la notification d'un besoin d'échange de produits entre deux entités (OCP SA, JV/filiale) de la plateforme Jorf Lasfar. Les figures 64 et 65 résument la suite du contenu présenté.
- Lorsqu'une demande d'échange provient de l'entité planification maritime, celle-ci est relayée à l'entité en charge des flux plateforme qui l'inscrit en catégorie façonnage.
- Lorsque la demande provient de l'entité production Usine (JV ou filiale ou OCP SA), elle est transmise à l'entité en charge des flux Usine (JV ou filiale ou OCP SA) qui la relaye à l'entité flux plateforme qui l'inscrit en catégorie façonnage.
- Les échanges de produits au sein de la plateforme Jorf Lasfar permettent de répondre à :
 - Une contrainte commerciale : L'échange permettant de répondre à une problématique de chargement, de qualité ou de disponibilité d'un produit ou pour pallier à des restrictions d'exportation d'une entité (absence de certifications, contraintes légales, contraintes techniques, etc.).
 - Un besoin pour façonnage : L'échange dans ce cas permet de répondre à des problématiques de production ou de stockage, notamment en cas d'encombrement des lignes de production d'une entité, en cas de besoin d'un produit intermédiaire pour façonnage, etc.
- L'ensemble des échanges réalisés au sein de la plateforme Jorf Lasfar sont inscrits dans la catégorie « Façonnage ».
- A la réception de la demande d'échange, l'entité en charge des flux plateforme assure la coordination, la logistique et le contrôle de l'échange, puis actualise l'état des échanges.

- L'entité en charge des flux plateforme assure le reporting de l'ensemble des flux transitant par la plateforme Jorf Lasfar et produit mensuellement un état des échanges réalisés durant le mois.
- Lors de la réunion de coordination hebdomadaire, l'entité en charge des flux plateforme partage avec l'entité planification maritime, un état actualisé des échanges convertit en équivalent P2O5.
- Annuellement, l'entité en charge de la fiscalité effectue une demande d'achat en suspension de TVA de tous les biens et services en relation avec son activité d'exportation, et ce dans la limite du CA à l'export de l'exercice précédent N-1
- Deux jours ouvrables après fin de mois, l'entité en charge des flux plateforme, transmet l'état mensuel des échanges à l'ensemble des parties prenantes, à savoir :
 - L'entité en charge du contrôle de gestion plateforme
 - L'entité en charge de la Consolidation des Opérations Industrielles
 - Les entités en charge du contrôle de gestion Usine (JV ou filiale ou OCP SA)
 - Les entités en charge des flux Usine (JV ou filiale ou OCP SA)
 - Entité Vente Marché local (au sein de la DEX Commerciale)
 - L'entité planification maritime peut être sollicitée au besoin pour participer à la réunion des échanges.
- L'entité en charge du contrôle gestion plateforme organise la réunion des échanges, 3 jours ouvrables après fin de mois. Cette réunion permet de :
 - Valider les quantités échangées,
 - Vérifier les conditions de facturation et enclencher le processus de facturation des échanges.
- A l'issue de la réunion des échanges, les PV d'échanges sont signés contradictoirement par :
 - Les secrétariats techniques des JV (entités flux propres)
 - L'entité flux OIJ
- Les échanges entre entités sont facturés dans les trois cas suivants :
 - Lorsque le stock d'une entité est négatif,
 - Lorsque le stock cumulé des échanges entre deux entités est supérieur à 10 K Tonnes en équivalent P2O5.
- A la fin de chaque clôture trimestrielle afin de liquider les écarts restants.
- A l'issue de la réunion des échanges, l'entité en charge du contrôle de gestion rédige un PV de la réunion qui doit être validé et signé par l'ensemble des participants de la réunion des échanges.
- A l'issue de la signature du PV de la réunion des échanges, L'entité contrôle interne de la Direction Commerciale et ventes marché local reçoivent un email indiquant les quantités façonnées (de part et d'autres) durant le mois.
- Lorsqu'aucune des conditions listées n'est remplie, la décision de facturation des échanges est reportée à la réunion des échanges du mois suivant. Les échanges non facturés sont provisionnés.
- Lorsque OIJ effectue le façonnage pour le compte d'une entité (JV ou filiale), OIJ facture la prestation de façonnage. En revanche, lorsqu'une entité (JV ou filiale) effectue le façonnage pour le compte d'OIJ, OIJ établit des avoirs.
- A l'issue de la réunion des échanges et à J+4 après fin de mois :

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

- Les entités Consolidations Opérations Industrielles et Contrôle de Gestion Usine (JV ou filiale ou OCP SA) établissent les factures/avoirs des prestations de façonnage et des échanges de matière (hors phosphate).
- L'entité ventes marché local établit les factures/avoirs relatifs aux façonnages et de phosphate.

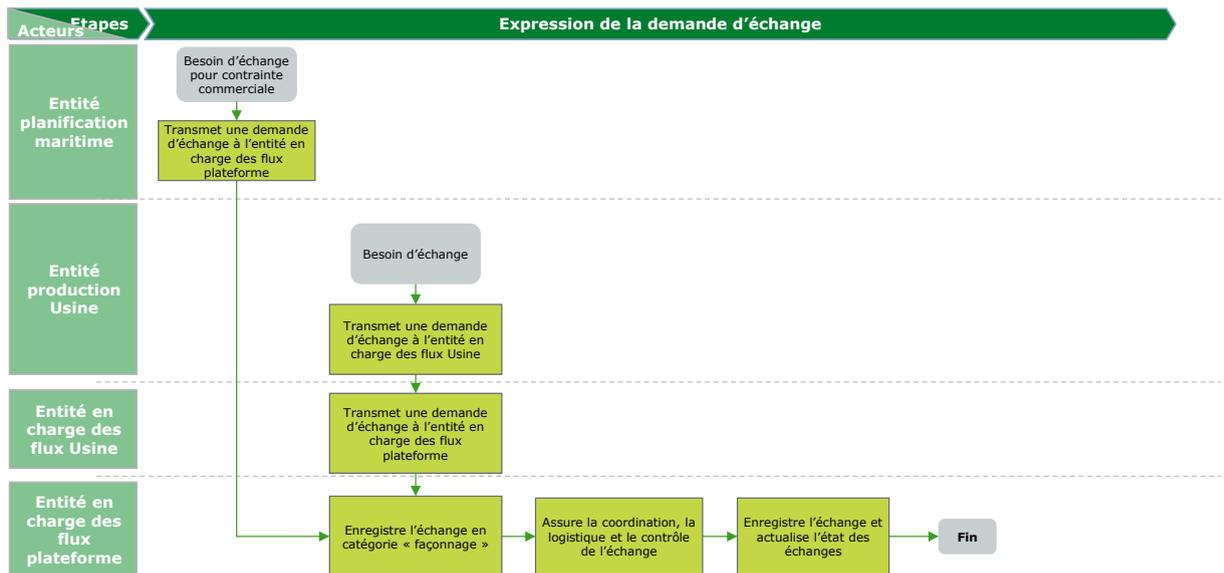


Figure 64: diagramme d'expression de la demande d'échange [adapté d'une présentation de l'OCP]

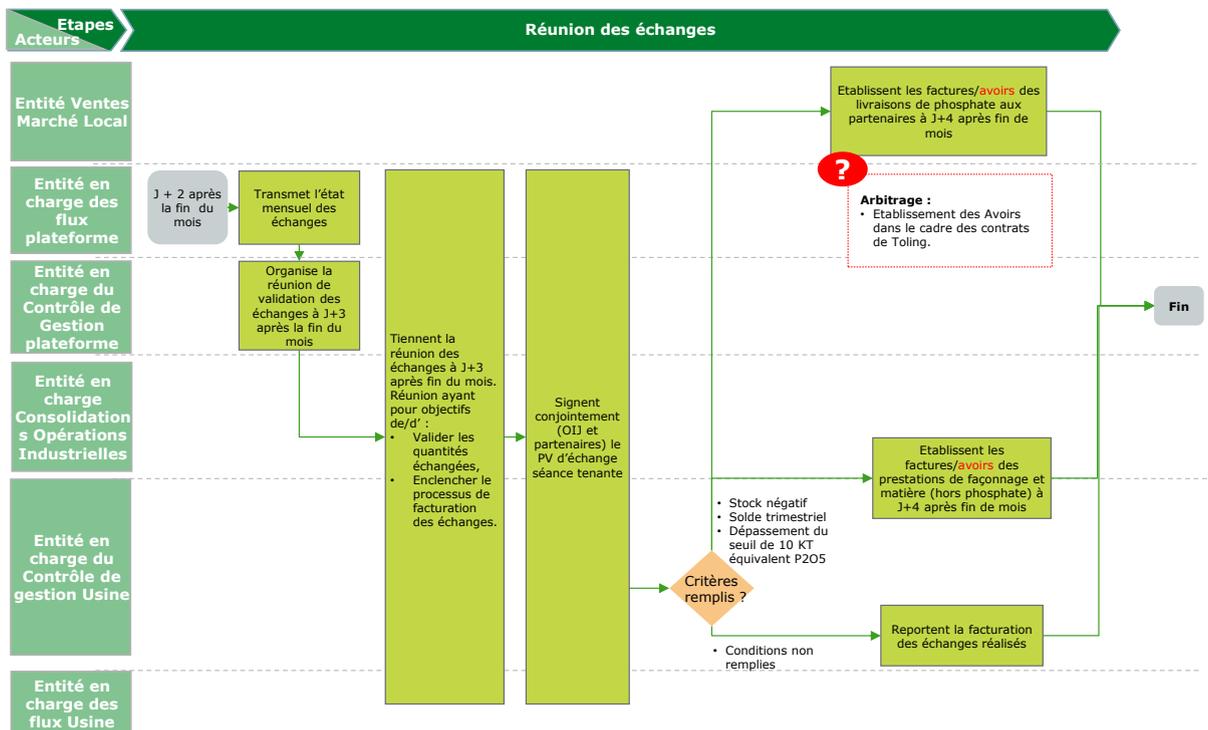


Figure 65: Diagramme de la réunion d'échange [adapté d'une présentation de l'OCP]

Règle de gestion 2 : Maintenances

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

Le rôle du planificateur est de planifier les interventions, en tenant compte des contraintes de la production, de la disponibilité quantitative de la main d'œuvre et des contraintes des différents corps de métier.

Les étapes à suivre par le planificateur sont les suivantes :

- Étape 1 : Analyse de la nature de l'intervention

À partir de la liste des demandes lancés « En attente planification » édités par le préparateur, le planificateur sélectionne les interventions dont la réservation et l'identification des ressources ont été confirmées et décide de la nature de l'intervention selon les critères suivants :

Nature de l'intervention	Critères d'arbitrage
Intervention nécessitant un arrêt de révision	Durée de l'intervention dépassant de loin la durée prévue pour les arrêts périodiques Intervention nécessitant un travail process de grande envergure (nettoyage d'un réacteur) Intervention non sécuritaire sans arrêt total de la ligne de production (travaux sur les tours d'acide, interventions sur les tableaux électriques) Volume important des interventions de maintenance systématique (nécessité de synchroniser le calendrier de maintenance systématique avec le programme des arrêts pour révision)
Intervention nécessitant un arrêt périodique	Interventions avec durées plus ou moins égales aux durées prévues pour les arrêts périodiques Interventions de contrôle et d'inspection internes n'ayant pas un impact sur la durée de l'arrêt périodique
Intervention sans arrêt de la production	Intervention n'ayant aucun impact sur la cadence des lignes de production

Intervention nécessitant un arrêt planifié non périodique	Intervention de caractère urgent à fort et d'une durée nécessitant la programmation d'un arrêt de durée adéquate en concertation avec les différents corps de métiers
--	---

Nature des interventions

- Étape 2 : Établissement des plannings
 - Intervention nécessitant un arrêt de révision :

Edition initiale du planning : Courant le dernier trimestre de l'année N-1, le programme annuel de production est établi par les responsables maintenance et production de l'entité et permet ainsi de définir le planning global des arrêts selon le formulaire programme annuel des arrêts pour révision, ce permettra au planificateur d'établir les premiers plannings des arrêts de révision de son périmètre.

Les interventions jugées de nature « Nécessitant un arrêt de révision » sont intégrées dans le planning préétabli (sur le logiciel MS-PROJECT, Pupitre planificateur ou équivalent) en fonction de la charge de travail et de la capacité disponible en ressources internes et de sous-traitance. Il est partagé mensuellement avec l'ensemble des acteurs.

Les ordres de travail « lancés » (avec durées et ressources) établis par les préparateurs alimenteront les plannings globaux des révisions de l'année N.

Réunion d'ajustement du planning : Une réunion mensuelle est organisée en présence des acteurs suivants : - Préparateurs méthodes (tous corps de métier) - Représentant du service production - Responsable Cellule Gestion PDR du bureau des méthodes (tous corps de métier) - Représentant de la maintenance opérationnelle (tous corps de métier) - Représentant des ateliers centraux - Représentant du service Logistique - Représentant du service approvisionnement

Lors de cette réunion le planning est présenté à l'ensemble des participants, et ajusté en fonction des contraintes partagées. Dès lors, le planificateur transforme les OT lancés « en attente planification » à des OT Lancés « sous planification ».

Mise à jour du planning : Le planificateur met à jour le planning et le diffuse suite à la réunion.
 - Intervention nécessitant un arrêt périodique :

Edition initiale du planning : Sur la base du programme des arrêts périodiques mensuel, le planificateur se charge de construire le planning de l'arrêt périodique (Sur MS PROJECT, Pupitre planificateur ou équivalent)

Les ordres de travail correspondants aux interventions (avec durées et ressources) établis par les préparateurs alimenteront les plannings des arrêts périodiques en fonction de la charge de travail et de la capacité disponible en ressources internes et de sous-traitance.
 - Intervention sans arrêt de la production :

Il s'agit des interventions n'ayant aucun impact de cadence sur l'outil de production, pouvant être programmées sans prise en compte du programme des arrêts. Il est à noter que la nature de ces interventions n'empêche pas leur importance/urgence éventuelle.

Edition initiale du plan de charge : À partir de la liste des OT lancés « en attente planification » éditée par le préparateur, le planificateur construit un plan de charge initial pour la semaine S+1 : Plan de charge hebdomadaire – pour les travaux qui peuvent être réalisés sans arrêt de la production, et intègre les plannings des arrêts périodiques de la même semaine.

○ Intervention nécessitant un arrêt planifié non périodique :

Les interventions nécessitant un arrêt planifié non périodiques sont planifiées suivant le processus que celui des interventions nécessitant un arrêt de révision

Les réunions de préparation sont pilotées, dans ce cas, directement par le responsable du bureau des méthodes. Le planificateur tient à jour la liste de ce type d'interventions, son volume sera un élément de décision de la date de programmation de l'arrêt et de sa durée.

○ Réunion d'ajustement du planning – dite « réunion de planification hebdomadaire » :

Une réunion hebdomadaire est organisée en présence des acteurs suivants:

- Planificateur méthodes (Pilote)
- Préparateurs méthodes (tous corps de métiers)
- Représentant du service production
- Représentant de la maintenance opérationnelle (tous corps de métier)
- Représentant des ateliers centraux
- Représentant du service logistique

Lors de cette réunion le planning est présenté à l'ensemble des participants, et ajusté en fonction des contraintes partagées. Le planificateur profite de cette réunion pour évaluer le planning de la semaine en cours et discuter des contraintes rencontrées pour le réaliser. Dès lors, le planificateur transforme les OT lancés « en attente planification » à des OT Lancés « sous planification ».

Mise à jour du planning : Le planificateur met à jour le planning et le diffuse suite à la réunion.

- **Étape 3 : Évaluation et Reporting de la réalisation des plannings**

La dernière étape consiste en l'évaluation et le reporting de la réalisation de l'ensemble des interventions de maintenance planifiée, et ce à travers :

- Le suivi de la réalisation des travaux sur la base des données saisies sur GMAO et le feedback des différents intervenants (Le planificateur peut consulter les rapports journaliers édités par la maintenance opérationnelle en cas de retard de saisie sur système)
- Le reporting des travaux (par l'utilisation des plannings et plans de charge) suivant la fréquence adéquate
- Le pilotage des réunions d'évaluation quotidiennes lors des arrêts de révision des lignes de production
- La mise à jour et la diffusion des indicateurs de son périmètre

Toutes ces étapes sont structurées dans la figure 66.

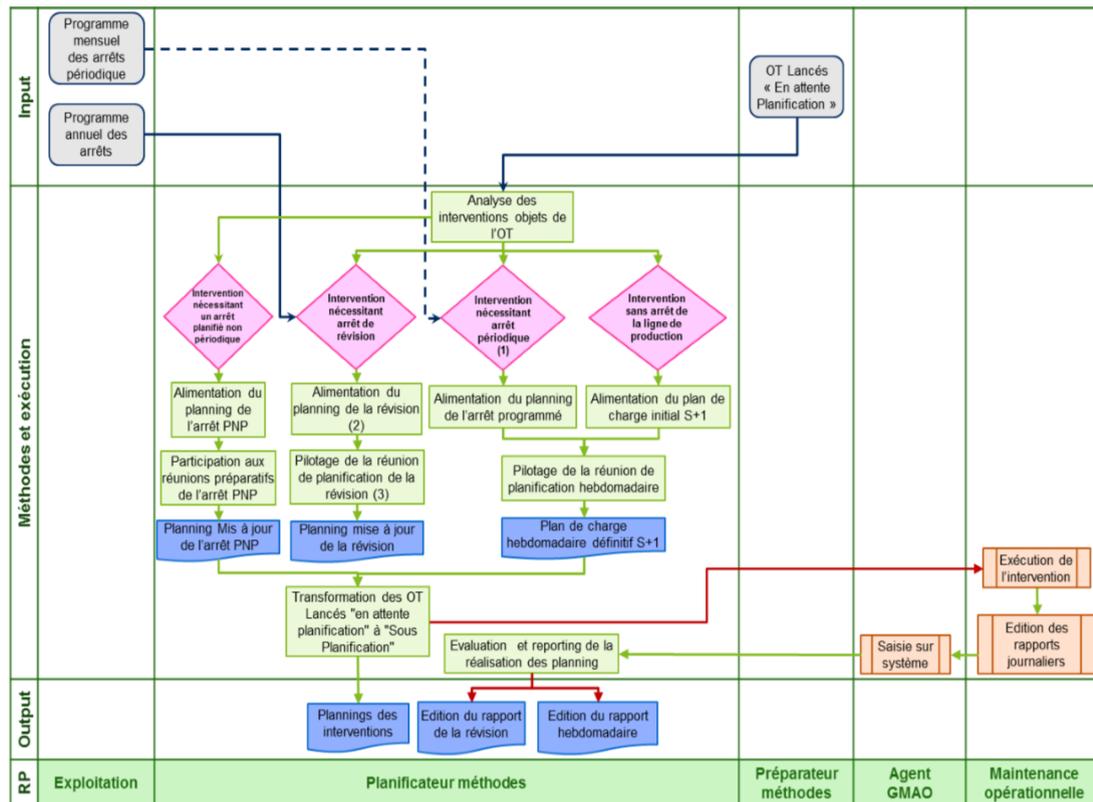


Figure 66: Règles de gestion des maintenances [adapté d'une présentation de l'OCP]

Règle de gestion 3 : Vente des engrais et autres produits par camions

Cette règle se fait en trois étapes (annexe 11)

- Etape 1 : Traitement de la commande
- Etape 2 : Pesage
- Etape 3 : Sortie du camion

2.5 Synthèse sur la construction des modèles de connaissance pour la Supply Chain de Maroc Phosphore

Les recueils de connaissance réalisés dans cette section ont été réalisés chemin faisant entre le début de la recherche doctorale (Janvier 2014) et la fin des expérimentations (Eté 2017). Ils ont été validés au fur et à mesure de la démarche de recherche. A la date de soutenance, ils n'ont pas été réactualisés, et certains modèles et recueils de la connaissance ne sont pas forcément à jour. L'image qui est donnée dans ce document correspond à l'état du terrain sur la période mentionnée. Les procédures et les éléments recueillis ont été validés chemin faisant par un mécanisme d'aller /retour et de réunion avec le département de contrôle de gestion et la « tour de contrôle ». Les schémas suivants présentent l'interfaçage entre SSP, SSD et SSL pour les lignes d'engrais réalisé à l'aide d'un diagramme UML.

3 CONCEPTION D'UN SIAD POUR MAROC PHOSPHORE A L'AIDE DE PREVA

Le processus de modélisation utilisé par ASCI- CLH préconise, après le recueil de connaissance de construire, à l'aide des composants méthodologiques ou logiciels le système d'aide à la décision dédié au système étudié. Cette phase se réalise dans notre cas à l'aide de PREVA. La conception et l'évaluation par PREVA se fait en trois étapes :

- Etape 1 : Nous avons un modèle d'action pour le flux physique qui est représenté à l'aide de simul8 en utilisant les règles de modélisation détaillée dans le chapitre 3 avec une granularité heure et semaine.
- Etape 2 : Nous avons un modèle d'action pour le flux financier qui est fait à l'aide de la méthode ABC en utilisant les règles détaillées dans le chapitre 3 avec une granularité au pas de simulation
- Etape 3 : Nous avons fait le couplage des résultats de simulation et les résultats de coûts à l'aide de deux interfaces afin de structurer les indicateurs physiques et financiers sous la forme d'un tableau de bord.

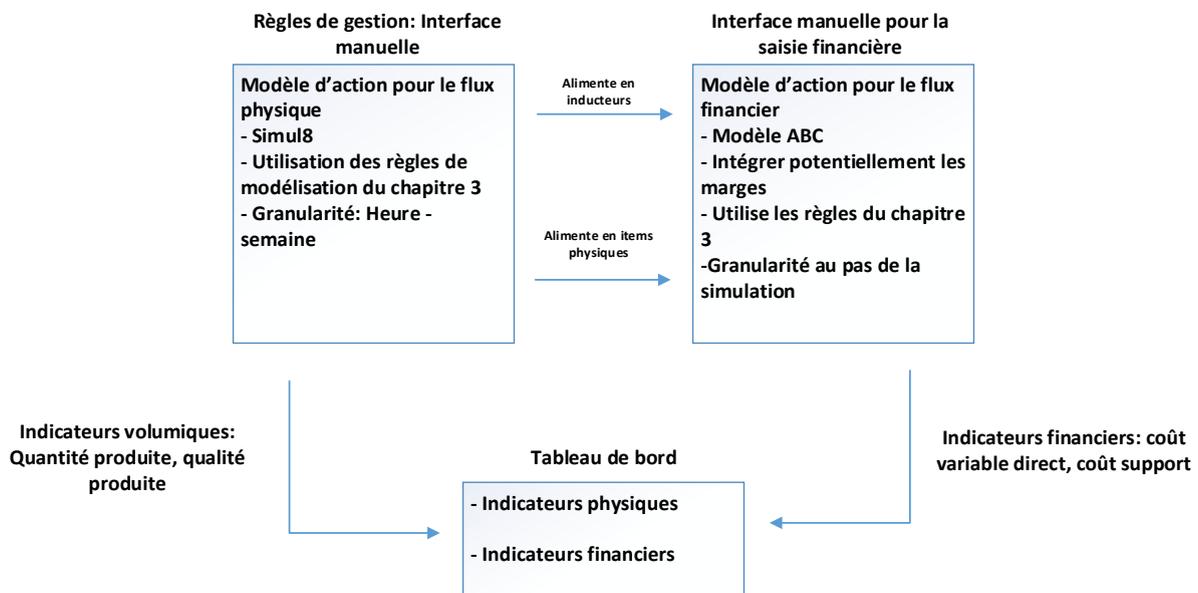


Figure 68: Approche PREVA instanciée pour l'OCP

Un SIAD a été réalisé pour chaque atelier :

- Un pour l'atelier d'acide phosphorique ;
- Un pour l'atelier d'acide sulfurique ;
- Un pour l'atelier d'engrais.

La complexité des systèmes modélisés fait que nous utilisons principalement l'atelier d'engrais comme terrain d'illustration des travaux réalisés. Mais les construits sont relativement identique dans les 3 cas. Chaque SIAD peut s'utiliser de manière indépendante (pour un problème dédié) ou l'ensemble peut être utilisé de manière globale.

3.1 Modèle pour le flux physique

Dans un premier temps, un simulateur à événements discrets a été conçu pour pouvoir prendre en compte la combinaison de processus discrets et continus. Les figures 69, 70, et 71 décrivent respectivement le fonctionnement opérationnel des trois ateliers sulfurique, phosphorique et engrais. Nous avons ligne par ligne, processeur par processeur, les entrées et les sorties ainsi que l'état de tous les stocks et le tout en respectant les règles de modélisation détaillées dans le chapitre 3 et le modèle de connaissance de la section précédente.

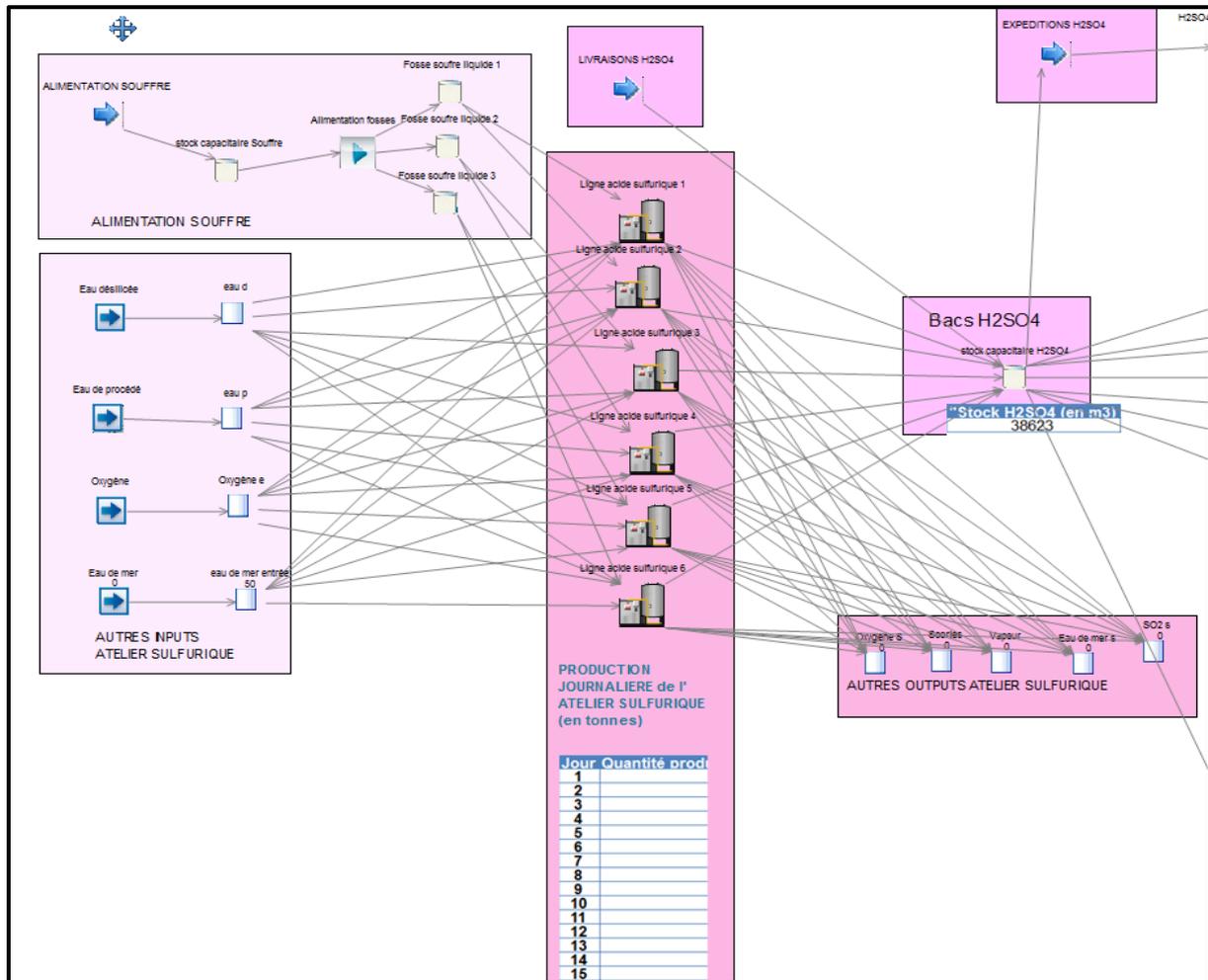


Figure 69: Modèle de simulation de l'atelier sulfurique

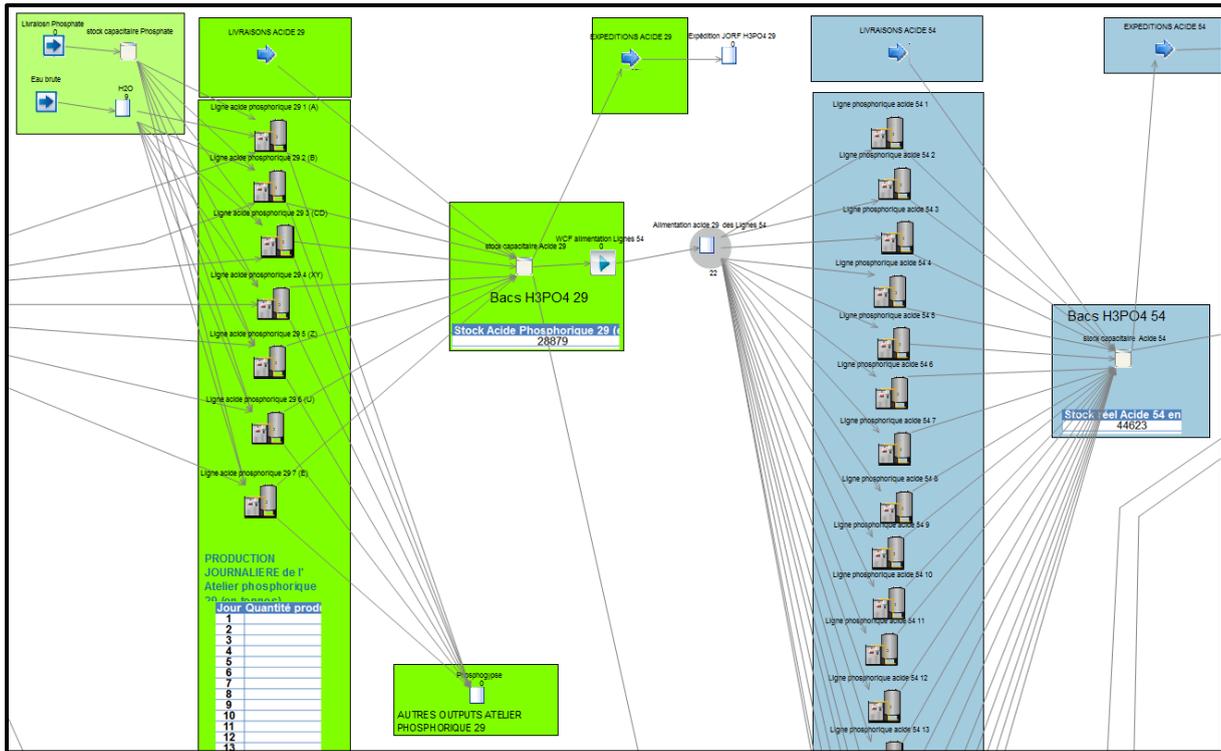


Figure 70: Modèle de simulation de l'atelier phosphorique

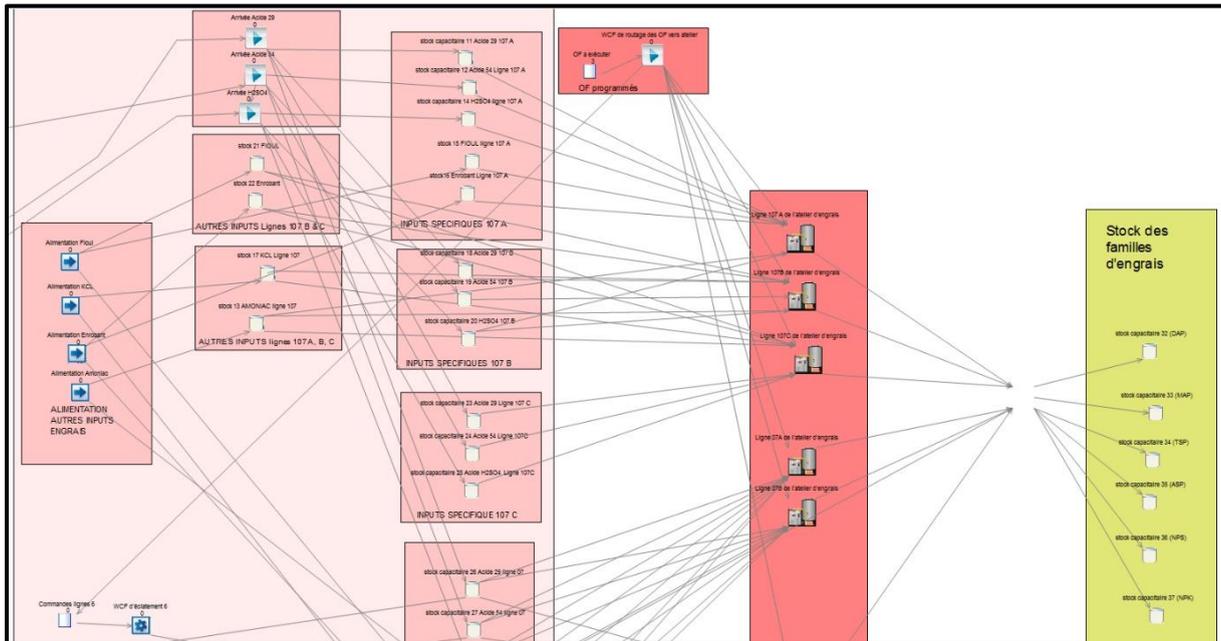


Figure 71: Modèle de simulation de l'atelier d'engrais

Ensuite, nous avons créé une interface logicielle (figure 72) qui permet d'alimenter le modèle de simulation avec un jeu de données pour définir un problème. Dans cette interface logicielle, nous nous saisissons les données de paramétrage. Dans un premier temps, nous définissons la date de début de simulation : pour la saisie d'un OF, nous ajoutons un temps de lancement c'est-à-dire le temps de changement de formule qu'il faut ajouter quand l'OF que nous sommes en train de saisir n'est pas de la même qualité (même type d'engrais) que l'OF précédent.

Nous pouvons choisir une maintenance avec une périodicité de n jours c'est à dire toutes les semaines - même heure.

Pour l'échange, nous prenons en compte l'arrivée et le départ (La réception et la livraison). Nous avons également la possibilité de saisir la disponibilité des lignes ainsi que le régime de marche. Une fois que le modèle de simulation est alimenté, nous pouvons observer les productions journalières dans les trois ateliers (suivant le niveau de granularité temporelle voulu).



Figure 72: Interface de saisie de décisions

3.2 Modèle pour le flux financier

Seule la simulation nous permet de comprendre ce qui se passe dans le système quand on combine plusieurs décisions. Si, nous avons des scénarios de décisions alternatives, la question qui se pose est quelle est la décision la plus intéressante d'un point de vue économique. Or nous sommes dans une logique de volonté de valoriser une production à la commande. Travailler à la commande implique un contrôle de gestion spécifique avec une définition d'un référentiel dynamique qui va dépendre du modèle de simulation. Ce référentiel est utilisable par le SIAD du contrôle de gestion afin d'améliorer la prise de décision. Ce SIAD doit permettre une meilleure compréhension des écarts physiques entre le prévu et le réalisé et, de choisir les décisions les plus intéressantes d'un point de vue économique. Cette évaluation économique s'appuie sur une comptabilité de gestion basée sur l'approche de l'ABC (que nous avons présentée dans le chapitre précédent). En ce qui concerne le modèle de valorisation, dans un premier temps, nous avons fait une répartition des charges (tableau 12).

En fonction de l'horizon choisi, les charges fixes peuvent devenir charges variables ou inversement. Selon le niveau d'agrégation, les charges directes peuvent devenir indirectes. Dans le cas où, nous avons une partie des charges directes et une autre partie indirecte, ou une partie des charges variables et une autre partie fixe, nous allons utiliser des capteurs d'informations pour faire la répartition.

Comme nous n'avons aucune décision opérationnelle reliée aux coûts fixes, dans le cadre de notre modélisation, nous allons prendre en compte les coûts variables directs et indirects. Relativement à ces coûts : Nous n'avons aucun problème pour imputer les coûts directs sinon, pour imputer les coûts indirects, il faut faire appel aux inducteurs de coûts.

Pour chaque atelier, nous avons défini les charges fixes et variables qui correspondent aux coûts des heures de marche normale avec une mobilisation des ressources permanents. Ensuite, nous avons défini les charges qui peuvent être engendrés suite aux décisions prises. Ces décisions peuvent être liées à la production à court terme. Parmi ces décisions, nous pouvons avoir :

- Le calcul des coûts des heures supplémentaires qui est liée aux décisions prises ;
- Intervention du personnel extérieur à l'entreprise pour une période déterminée ;

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

- Changement de qualité de production d'engrais (temps de nettoyage des lignes peut engendrer un coût) ;
- Production de la même qualité et la même quantité d'engrais sur deux lignes différentes ;
- La pénalité de retard suite aux mauvais temps ce qui peut être considéré comme une charge additionnelle ;
- La maintenance et les différents types d'arrêt.

	Directes	Indirectes
Charges variables	Phosphate Soufre Ammoniac KCL Matières auxiliaires & consommables Pièces de rechange Achat de travaux, Etudes et prestations de services Entretien et réparations Electricité ONE Eau brute ONEP Gasoil et essence Personnel extérieur à l'entreprise Charge personnel HS	Gasoil & essence Electricité ONE Eau brute ONEP
Charges fixes	Assurances Dotations aux amortissements Pièces de rechange Achat de travaux, Etudes et prestations de services Entretien et réparations Charges de personnel : salaire, avantages et indemnités, autres charges sociales	Locations et charges locatives Part des frais généraux (direction, DG, etc...) Assurances Impôts et taxes Transport de personnel Charges de personnel : salaire, avantages et indemnités, autres charges sociales Dotations aux amortissements Autres charges d'exploitation incorporables Charges financières Etudes recherches et documentation Pièces de rechange ONE ONEP Gasoil et essence Déplacement, missions et réceptions Intermédiaires et honoraires

Tableau 12: Charges fixes et variables

Dans une seconde étape, nous avons construit nos inducteurs de coûts, à partir des points de désynchronisation du flux. Ces inducteurs doivent refléter les conséquences des décisions prises.

Chaque passage de production entraînant un changement dans le processus et le discrétisant constitue un élément déclencheur permettant de mettre en évidence un inducteur de coût. Nous avons ainsi repris chaque processus et chaque activité au niveau de la BU « Acide » et de la BU « Engrais » afin de déterminer les inducteurs permettant d'imputer les charges de la balance comptable fonctionnelle de la SC de l'OCP SA axe Nord. Plus précisément, les points

de passage entre deux processus de transformation hybrides / points de discrétisation du flux constituent les « frontières » potentielles pour la construction de BU orientées processus. Ils permettent également de révéler l'existence des inducteurs de coûts dans la CLH et de formaliser concrètement des règles de traduction pour pouvoir, à partir des systèmes existants de contrôle de gestion industriel qui sont associés à des centres de coûts par entité fonctionnelle, passer à des BU orientées processus industriels.

La construction d'un modèle ABC permet ainsi d'évaluer la création de valeur pour chaque BU constituant la CLH et permettant notamment de prendre en compte l'ensemble des extrants et entrants dans chaque entité processuelle (production d'énergie, valorisation des déchets, choix de commande à privilégier ...), ce modèle est ensuite couplé avec le modèle de simulation.

Dans notre cas, nous avons fait un découpage par processeur (tableau 13) pour avoir le coût par qualité, par heure et par ligne pour les engrais, et par ligne, par heure et par type d'acide pour les acides. Ce fichier réunit le coût variable direct et le coût support, ce dernier coût représente le coût des arrêts et des maintenances et le coût de régime de marche plus le coût d'énergie. Donc, nous obtenons une marge par ligne, par heure et par qualité d'engrais produite et par type d'acide.

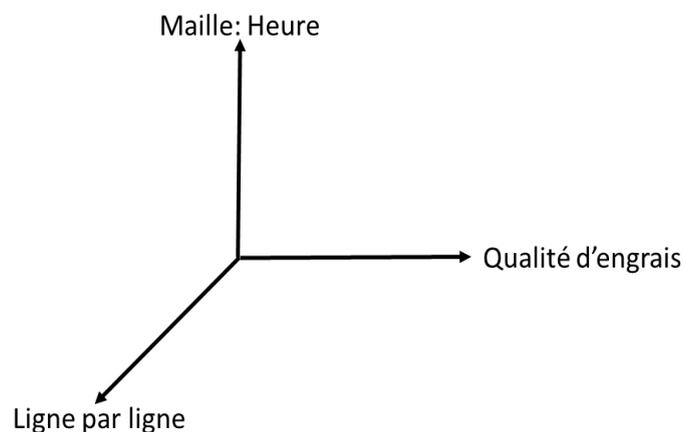


Figure 73: Modèle de coût par ligne par heure et par processeur

Ligne de production 07A						
Coût	Processeur	Ressources	Coûts (DHS /T)	Ratio	Prix	
	PN	H2SO4	669,29	1,08	722,83	
		Matières auxiliaires	14,96	7,03	105,16	
		ACP 29é	6609,58	1,50	9914,37	
		ACP 54 CL	6703,97		0	
		ACP 54 NCL	6703,97	1,40	9385,55	
		KCL	6504,84		0	
		Phosphate	6015,19		0	
		Ammoniac	4263,75	1,10	4690,12	
		Inducteur énergie	612,27	1,007	616,55	
		Vapeur	8,28		0	
		Eau brute	8,18	1,042	8,52	
		Granulation	Ammoniac	4263,75	1,030	4391,66
	Inducteur énergie		612,27	1,005	615,33	
	ACP 54 NCL		4703,97	0	0	
	Séchage	Inducteur Energie	412,27	1,005	414,33	
	Criblage	Inducteur Energie	412,27	1,005	414,33	
	Refroidissement	Inducteur Energie	412,27	1,005	414,33	
	Enrobage	Inducteur Energie	412,27	1,005	414,33	
		Enrobants	3430,12		0	
		Fuel	1430,11	1,039	1485,88	
		Air comprimé	1,28	0	0	
		Inducteur maintenance	24,47	2	48,94	
		Inducteur Régime de marche	112,27	1.8	202,08	
		Inducteur Arrêt	109,00	0	0	
	Total coût direct variables					30704,12
	Coût support arrêt					0
Coût support maintenance					48,94	
Coût support régime de marche					202,08	
Coût support énergie					2889,21	

Tableau 13: Modèle de coût pour une ligne de production d'engrais (données proformat)

Une fois que nous avons fait un modèle de coût par ligne, par heure et par processeur pour toutes les qualités d'engrais (figure 73), nous avons réuni tous les coûts variables directs de

toutes ces qualités dans une matrice (figure 75). De ces modèles, nous avons également sortis, les coûts support qui sont un coût support énergie, un coût support maintenance, un coût support arrêt et un coût support régime de marche. Ces coûts support sont calculés en utilisant les inducteurs de coûts. Dans ce cas, nous avons des inducteurs liés à la ligne (régime de marche, maintenance, arrêt) et un inducteur lié au processeur qui est l'inducteur énergie (figure 74). L'inducteur maintenance est le nombre d'heure de maintenance divisé par la durée de simulation, l'inducteur régime de marche est le régime de marche de chaque ligne, l'inducteur arrêt est le nombre d'heure d'arrêt divisé par la durée de simulation, et le dernier inducteur énergie est calculé en multipliant un pourcentage pour chaque processeur par le coût d'énergie par ligne.

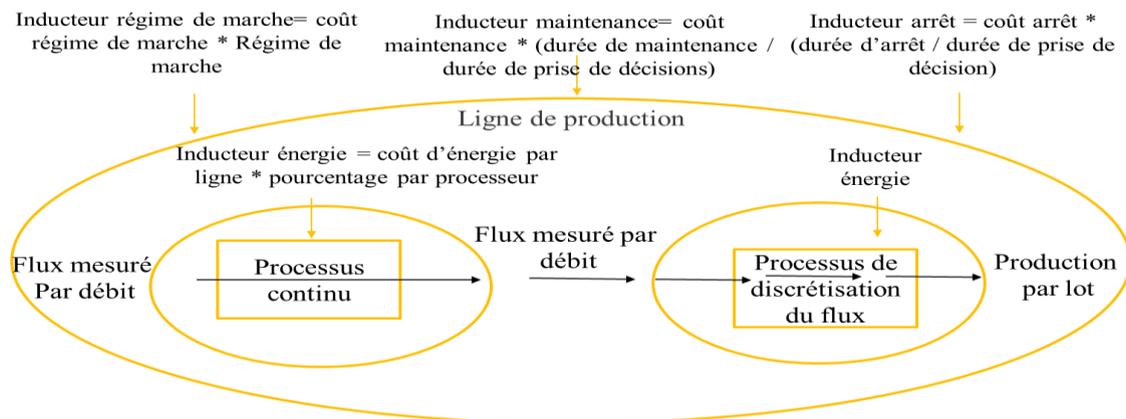


Figure 74: Définition des inducteurs de coûts

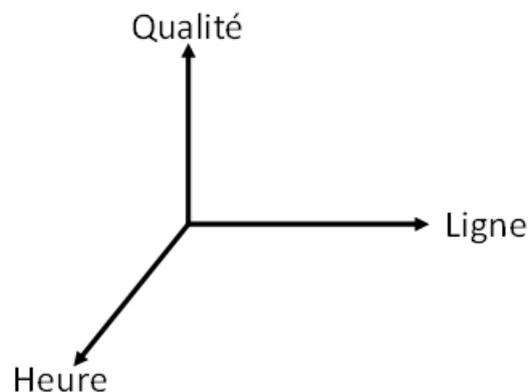


Figure 75: Coût variable pour toutes les qualités

3.3 Couplage des modèles d'action

Un des apports de notre travail réside dans le couplage des modèles de simulation avec les modèles de valorisation pour permettre de répondre à des alternatives décisionnelles du niveau opérationnel pour lesquelles il n'existe pas de modèle de valorisation pertinent ; par exemple, dans le contexte de l'OCP, les construits réalisés permettent de répondre à des alternatives décisionnelles du type :

- Ouverture / fermeture de ligne versus augmentation/ diminution du régime de marche de l'activité en continu
- Evaluation des plannings de maintenance
- Evaluation de planning d'ordonnancement des commandes

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

- Evaluation entre plusieurs plannings tactiques équivalents au plus intéressant d'un point de vue opérationnel.

A la fin de l'exécution de la simulation, nous retrouvons tous les résultats de simulation structurés sous trois tables : Production de Jorf par jour et par heure, l'évolution des productions par ligne et l'évolution des stocks.

	Commande 1	Commande 1	Commande 2	Commande 2
13/2/17 1:00	Ligne	Production (tonnes)	Ligne	Production (tonnes)
13/2/17 2:00				
13/2/17 3:00				
13/2/17 4:00				
13/2/17 5:00				
13/2/17 6:00	1	211,11		
13/2/17 7:00	1	211,11	2	217,64
13/2/17 8:00	1	211,11	2	217,64
13/2/17 9:00	1	211,11	2	217,64
13/2/17 10:00	1	211,11	2	217,64
13/2/17 11:00	1	211,11	2	217,64
13/2/17 12:00	1	211,11	2	217,64
13/2/17 13:00	1	211,11	2	217,64
13/2/17 14:00	1	211,11	2	217,64
13/2/17 15:00			2	217,64
13/2/17 16:00			2	217,64
13/2/17 17:00			2	217,64
13/2/17 18:00			2	217,64
13/2/17 19:00			2	217,64
13/2/17 20:00			2	217,64
13/2/17 21:00			2	217,64
13/2/17 22:00			2	217,64
13/2/17 23:00			2	217,64

Tableau 14: Un exemple de résultats de simulation

D'un point de vue technique, pour réaliser ce couplage, dans le cas des engrais, nous avons créé une interface qui permet de télécharger les résultats de simulation, le fichier de paramétrage JORF V1 qui permet de télécharger les qualités produites, les arrêts, les maintenances, ainsi que le régime de marche. Cette interface permet également de télécharger les coûts variables directs et les coûts support ainsi que le calcul des inducteurs de coûts que nous avons détaillés dans le paragraphe précédent.

La durée des maintenances, le temps d'arrêt et le régime de marche sont utilisés pour calculer les inducteurs de coûts. Les qualités produites sont téléchargées (elles pourraient être alimentées en temps réel avec le modèle de simulation) pour les lier avec les quantités produites obtenus à l'aide de la simulation et les coûts sont appelés pour être fusionnés avec les résultats de simulation.

Les maquettes logicielles que nous avons créées fonctionnent.

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

Pour faire ce couplage dans le cas des acides, nous avons programmé une application qui permet de faire la même chose que l'interface faite dans le cas des engrais (figure 76). Dans cette application, il suffit de télécharger le dossier contenant les fichiers de résultats de simulation, paramétrage, coûts, et elle calcule automatiquement les inducteurs de maintenances, régime de marche, et arrêt. Elle permet également le couplage entre les résultats de simulation et les coûts ainsi que la création des graphiques qui montrent la variation des coûts jour par jour et heure par heure.

Le couplage fort entre le pilotage opérationnel et tactique et le contrôle de gestion dans une CLH est une approche scientifique originale qui nous semble porteuse d'amélioration de l'efficacité et de l'efficience de l'OCP.

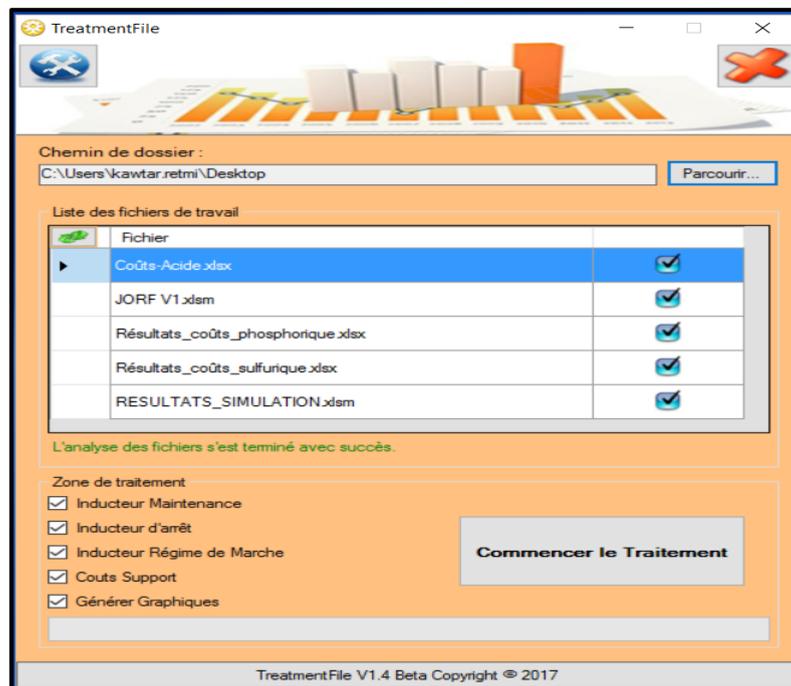


Figure 76: Application de couplage ABC – SED Acide

	Commande 1	Commande 1 (Tonnes)	Qualité	Coût direct (Dhs)	Coût support (Dhs)	Coût total (Dhs)
	Ligne 1	Production 1				
15/2/17 1:00	1	211,11	DAP (Chambal)	4481,46	122,88	972022,22
15/2/17 2:00	1	211,11	DAP (Chambal)	4490,82	122,88	973998,21
15/2/17 3:00	1	211,11	DAP (Chambal)	4488,81	122,88	973573,88
15/2/17 4:00	1	211,11	DAP (Chambal)	4490,82	122,88	973998,21
15/2/17 5:00	1	211,11	DAP (Chambal)	4481,46	122,88	972022,22

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

15/2/17 6:00	1	211,11	DAP (Chambal)	4490,82	122,88	973998,2 1
15/2/17 7:00	1	211,11	DAP (Chambal)	4488,81	122,88	973573,8 8
15/2/17 8:00	1	211,11	DAP (Chambal)	4494,43	122,88	974760,3 1

Tableau 15: Résultats de couplage (données pro .format)

Une fois que les résultats de simulation (tableau 14) et les résultats de coût sont couplés (tableau 15), nous obtenons des graphiques (figure 77) permettant de montrer les variations des coûts variables directs et des coûts support jour par jour et heure par heure pour chaque commande d'engrais et pour chaque type d'acide. Ces variations permettent de comprendre la formation des coûts et peuvent donner des leviers d'action. Ils permettent finalement d'imaginer un système de contrôle de gestion « temps réel ».

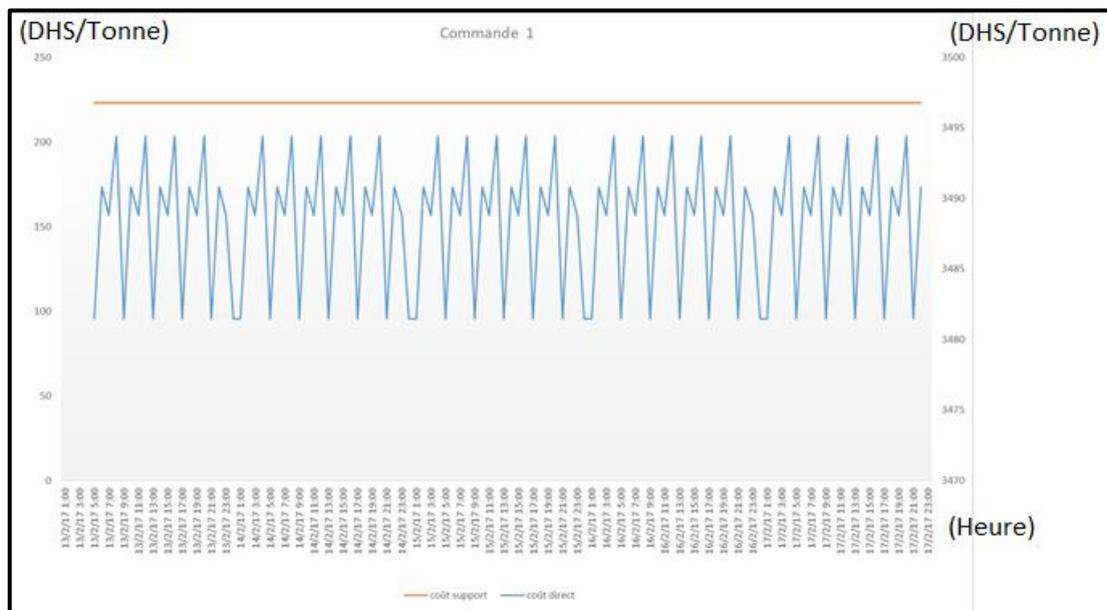


Figure 77: Variation du coût variable direct et du coût de support

3.4 Structuration de l'information dans un tableau de bord

Dans une première phase, nous nous sommes focalisés sur la représentation du fonctionnement physique de cette CLH dans son ensemble. Tout d'abord, nous avons fait un découpage de la CLH de l'OCP SA par Business Unit (BU) et pour chaque BU, nous pouvons imaginer un tableau de bord décisionnel construit avec un SIAD de type ABS.

Le tableau 16 représente une proposition de structuration des métiers de la SC « Nord » de l'OCP SA par famille de produits. Nous avons trois familles : famille acide, famille roche et famille engrais mais notre approche porte sur deux ateliers tests et qui sont : la famille « Acide » c'est à dire nous avons une BU Acide qui contient deux BU : BU Acide sulfurique qui produit de l'acide sulfurique, et de l'énergie et BU Acide phosphorique qui produit du phosphogypse, acide 54 clarifié, acide 54 non clarifié, acide 29, et la famille « Engrais » c'est-à-dire nous avons une BU engrais qui produit 36 qualités d'engrais. La construction d'un modèle ABC permet ainsi d'évaluer la création de valeur pour chaque BU constituant la CLH

et permettant notamment de prendre en compte l'ensemble des extrants et entrants dans chaque entité processuelle (production d'énergie, valorisation des déchets, choix de commande à privilégier ...); ce modèle est ensuite couplée à la simulation; cette étape également porte sur trois ateliers tests que nous considérons comme deux BU autonomes qui sont l'atelier d'acide sulfurique, l'acide phosphorique et l'atelier d'engrais. Le découpage que nous proposons ne correspond pas exactement au découpage réalisé actuellement par OCP SA. Il nous semble juste pertinent de « découper » en BU orientées produits.

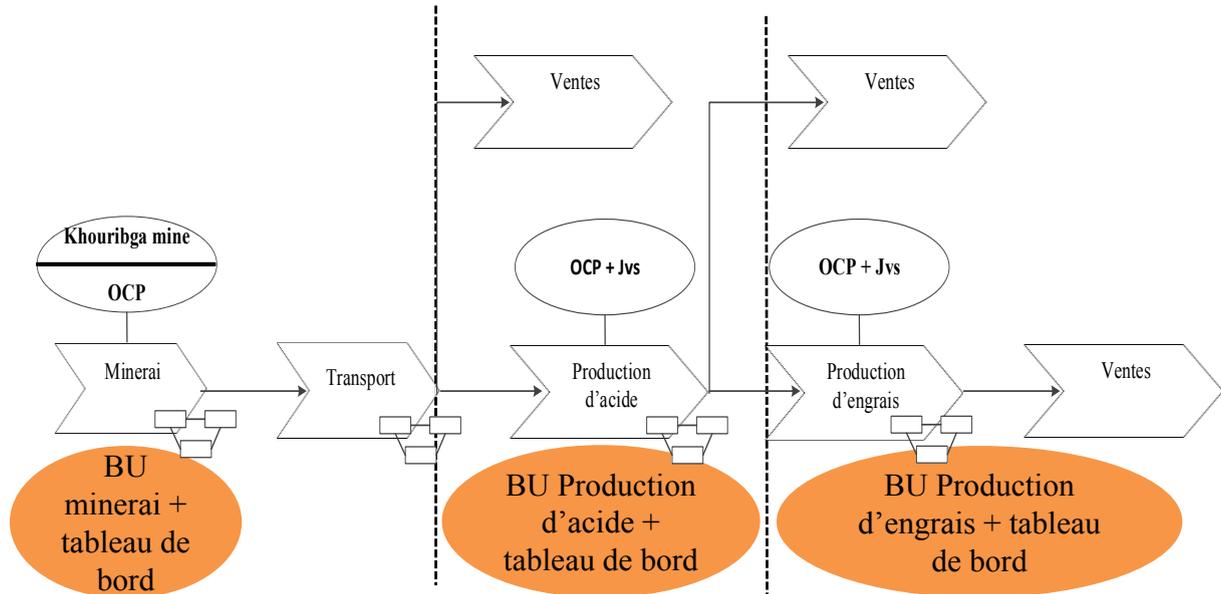


Figure 78: Découpage de la CLH de l'OCP

Nous n'avons pas, à ce stade de la recherche construit de tableau de bord utilisable pour le management à l'aide de notre SIAD. Nous avons proposé une structure et une démarche permettant, à partir des indicateurs existants dans le SIAD, de construire des tableaux de bord décisionnels qui reprennent les résultats des simulations et leur évaluation par les modèles de coût associés.

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

Famille « Roche »	Famille « Acide »		Famille « Engrais »	Business Unit
<ul style="list-style-type: none"> Extraction minerais Chargement et transport dans camions par type de qualité Transformation du minerais par lavage Transport pour transformation chimique par pipeline (200km environ) Transport de la roche par camion par type de qualité pour client externe 	--	--	--	BU Exploitation Minière
--	Processus de Production Acide Phosphorique <ul style="list-style-type: none"> Transport pour transformation chimique par pipeline (200 km environ) Broyage, Filtration Décantation, Concentration, Clarification Stockage d'ACP Transport pour client final Transport pour Joint-venture Transport pour production engrais 	Processus de Production d'Acide Sulfurique <ul style="list-style-type: none"> Déchargement soufre solide Stockage soufre solide Transport pour joint-venture ou processus de production Production H₂SO₄ Stockage de H₂SO₄ Production d'énergie Transport vers Joint-Venture Transport vers atelier d'engrais 	--	BU «Production d'acide »
--	--	--	<ul style="list-style-type: none"> Transport d'ACP Transport d'H₂SO₄ Granulation Séchage Criblage Refroidissement ou broyage 	BU «Production Engrais »

		<ul style="list-style-type: none"> • Enrobage • Stockage des engrais • Transport et vente engrais 	
Compte Résultat par activité pour la famille roche Non fait	Compte Résultat par activité pour la famille acide Réalisable	Compte Résultat par activité Pour la famille engrais Réalisable	Compte de résultat par métier et par produit Réalisable

Tableau 16: Instanciation de la démarche pour la construction de tableaux de bord décisionnel

4 IMPLANTATION DE LA DEMARCHE POUR MAROC PHOSPHORE ET DISCUSSION DES RESULTATS

L'objectif de cette section est de montrer l'intérêt de notre approche et du système budgétaire avancé proposé (ABS, cf chapitre précédent). Nous présentons dans le premier paragraphe les scénarii proposés pour la « BU engrais » puis quelques scenarii pour la « BU acide ». Les scenarii discutés sont établis à partir de données pro format qui ont été retravaillées. Les coûts donnés ne sont pas les coûts du système réel et les conclusions montrent juste la pertinence de notre approche relativement au contexte de Maroc Phosphore.

4.1 Scénarios de gestion engrais

L'atelier d'engrais est constitué (cf. modèle de connaissances de la section 2 de ce chapitre) par plusieurs lignes ayant un débit différent : les anciennes lignes de type 07 et les nouvelles lignes de type 107. Relativement à cela, dans une hypothèse de non saturation de la capacité de production, la question de l'affectation d'une production sur une ligne ou sur plusieurs lignes est posée, et nous montrons que notre SIAD permet de répondre à cette question dans le premier paragraphe. De la même manière, la question du régime de marche (le débit de l'atelier) peut se poser aussi. Vaut-il mieux produire rapidement un OF ou ralentir le débit lorsque la capacité n'est pas atteinte ? Nous répondons aussi à cela grâce à notre approche dans le deuxième paragraphe.

4.1.1 Présentation et résultats des scénarios de gestion de la répartition de la production d'engrais sur différentes lignes

Supposons un ordre de fabrication urgent de 10000T de DAP Chambal reçu par l'atelier et non prévu. Supposons que la capacité de production de l'atelier d'engrais ne soit pas atteinte (ce qui arrive de manière récurrente). Nous allons simuler physiquement 5 hypothèses de fonctionnement possible pour l'affectation de cette production :

- H1 : il s'agit de la solution qui consiste à affecter les 10000 T sur une même ligne de type 107 si elle est disponible.
- H2 : il s'agit de répartir la production sur deux lignes de type 107 (solution habituelle).

Chapitre 4 : Mise en œuvre de l'approche proposée sur la chaîne logistique hybride de l'OCP SA

- H3 : il s'agit de répartir la production de 10000T sur une ligne de type 07.
- H4 : il s'agit de répartir la production sur deux anciennes lignes de type 07
- H5 : il s'agit de répartir la production sur une nouvelle ligne de type 107 et une de type 07.

Chaque hypothèse est simulée à l'aide du SIAD proposé dans la section précédente. Les données comptables et physiques d'une semaine d'avril ont été utilisées dans le cas réel pour valider le fonctionnement du système et calibrer le simulateur. Les résultats proposés ici ont été établis à partir de données pro forma. Les tableaux 17 et 18 présentent les résultats.

Hypothèses	Coût variable (Dhs/T)	Coût support (Dhs/T)	Durée de Production (h)
H1. 1 Ligne 107	13968,08	2140,64	336
H2. 2 Lignes 107	13993	4000	168
H3. 1 Ligne 07	16420,52	2116,68	448
H4. 2 Lignes 07	16420,52	3200	224
H5. 1 ligne 07 et 1 ligne 107	15181,8	3600	224

Tableau 17: Résultats du scénario 1 engrais

Hypothèses	Coût total des 10000 T
H1. 1 Ligne 107	161 087 200 dhs
H2. 2 Lignes 107	179 931 200 dhs
H3. 1 Ligne 07	185 372 000 dhs
H4. 2 Lignes 07	198 052 000 dhs
H5. 1 ligne 07 et 1 ligne 107	187 816 000 dhs

Tableau 18: Résultats du scénario 1 engrais

L'analyse des résultats montre que :

- Sur la période d'analyse et compte tenu des données employées, le recours à la double affectation (hypothèse 2) sur 2 lignes de production de type 107 n'est pas pertinent d'un point de vue financier car il se traduit par une hausse de 10,4% des coûts de production à la tonne, compte tenu des éléments indirects variables.
- Notre SIAD permet de donner un éclairage économique sur une décision opérationnelle dont le caractère exclusif était pris précédemment sur des critères d'ordre physique (durée des temps de production pour réaliser l'ordre par exemple).
- Formellement, l'explication entre les différents coûts sur les différentes hypothèses s'expliquent d'une part par une structure de coûts variables directs différenciés entre les lignes 107 et 07 (favorables aux lignes 107) et d'autre part par le fait que l'affectation d'un même OF sur 2 lignes différentes, s'il permet de gagner du temps de production pour répondre à une commande « urgente » se traduit par des coûts de lancement plus importants.

4.1.2 Scénario de gestion modifiant le régime de marche engrais

Ce scénario porte sur le débit de la ligne 107 et vise à savoir si on a intérêt à réduire ou augmenter le régime de marche (le débit) de la ligne pour des raisons économiques

Pour répondre à ce challenge, nous avons établi ce scénario :

Dans ce scénario, dans un premier temps, nous avons simulé un OF de 5000 T de DAP Chambal sur une ligne 107A ; ensuite, nous avons proposé dans un premier temps, un régime de marche de 1.1 pour la ligne 107A, 0.8 pour la ligne 107 A. Ensuite, un régime de marche de 1 pour toutes les lignes afin de pouvoir faire une comparaison en termes de coûts.

Hypothèses	Lignes	Régime de marche
H1. Augmentation du régime de marche	107A	1,1
H2. Régime de marche normal	107A	1
H3. Diminution du régime de marche	107A	0,8

Tableau 19: Scénario d'augmentation du régime de marche

Hypothèses	Coût direct (Dhs/T) (Coûts Variables)	Coût support (Dhs/T)	Nombre d'heures (h)
H1. Augmentation du régime de marche	16 293,4	2342,68	152
H2. Régime de marche normal	16 091,72	2140,6	168
H3. Diminution du régime de marche	15 679,08	1727,96	212

Tableau 20: Résultats du scénario d'augmentation du régime de marche.

Hypothèses	Coût Total des 5000 T
H1. Augmentation du régime de marche	93 180 400
H2. Régime de marche normal	91 160 000
H3. Diminution du régime de marche	87 035 200

Tableau 21: Résultats du scénario d'augmentation du régime de marche.

L'explication des variations provient essentiellement de l'arbitrage entre durée de la fabrication et consommation énergétique. Une augmentation du régime de marche se traduirait par une modification de la structure de coût unitaire variable à la tonne (augmentation des consommations unitaires d'intrants) qui serait combinée à une hausse des coûts variables indirectes de consommation énergétiques. Ainsi, à la question de l'affectation sur une ligne ou une autre ligne, le recours à notre approche permettrait de calibrer le régime de marche (des débits) compte tenu de la demande à satisfaire. Il semblerait qu'il est plus intéressant de faire tourner au ralenti l'atelier plutôt que de lancer une production en un temps très rapide si l'atelier n'est pas saturé.

4.2 Scénarios de gestion acide

Nous travaillons sur deux familles de scénarios de gestion. La première famille de scénarios de gestion vise à savoir si la modification du régime de marche dans l'atelier d'acide phosphorique affecte les coûts de revient. La deuxième série de tests vise à s'intéresser à l'impact de la maintenance préventive sur la structure des coûts de revient.

4.2.1 Modification du débit dans la BU Acide Phosphorique.

Dans un premier temps, nous avons augmenté le régime de marche pour la ligne 29-3 de l'atelier d'acide phosphorique (Cf modèle de connaissance de la section précédente) de 10% pour pouvoir le comparer avec un régime de marche normal. Nous avons également réduit le débit de 20% pour voir l'impact sur la structure de coût de revient unitaire pour une durée de 116h.

Hypothèses	Lignes	Régime de marche
H1. Augmentation du régime de marche	Ligne phosphorique 29-3	1.1
H2 Régime de marche normal	Ligne phosphorique 29-3	1
H3 Diminution du régime de marche	Ligne phosphorique 29-3	0.8

Tableau 22: Scénario d'augmentation du régime de marche ACIDE

Hypothèses	Coût direct (Dhs/T) (Coûts Variables)	Coût support (Dhs/T)	Quantité
H1. Augmentation du régime de marche	24 669,48	2 224,92	110 000
H2. Régime de marche normal	24 469,48	2 026,52	87 2420
H3. Diminution du régime de marche	24 069,48	1 634,52	64 480

Tableau 23: Résultats du scénario d'augmentation du régime de marche

Le travail que nous avons réalisé montre que la modification du régime de marche modifie la structure des coûts de revient ; la modification du régime de marche est une décision opérationnelle qui n'est pas prise en fonction de critères économiques actuellement mais plutôt en raison de décisions opérationnelles d'ordre technique. Un pilotage par la demande de l'atelier d'acide phosphorique montre que les coûts de revient variables à la tonne seraient modifiés en fonction des niveaux de débit.

4.2.2 Scénarios de gestion maintenance pour la BU Acide Sulfurique

Dans ce scénario, nous proposons un décalage de maintenance sur la même ligne pour pouvoir voir si cela a un impact sur le coût.

Scénarios	Lignes	Heure de début	Durée
H1 Sans décalage.	Ligne sulfurique 1 (A)	14/2/2017 à 18h30	1h
H2. Avec décalage	Ligne sulfurique 1 (A)	14/2/2017 à 2h30	1h

Tableau 24: Scénario de décalage de maintenance.

La structure de notre modèle de coût ne permet pas de montrer un impact réel du décalage de la maintenance préventive sur la ligne. Il semblerait donc que ce genre de décision n'impacte pas la structure des coûts de revient.

4.3 Réflexions à posteriori sur le processus de modélisation des ateliers de Maroc Phosphore

Nos modèles de connaissance, nos modèles informatiques et nos modèles de coûts ont été présentés de manière officieuse ou officielle chemin faisant à l'équipe contrôle de gestion de Jorf. Lorsque nous sommes arrivés à Jorf :

- Le système de valorisation utilisé avait une maille mensuelle et était par famille d'engrais ;
- Après plusieurs discussions avec les équipes de contrôle de gestion, il semble que le niveau de granularité des modèles de valorisation a été changé et soit en train de passer au niveau qualité, voire sous qualité d'engrais.

Les possibilités de valorisation que nous avons proposées sont différentes par rapports aux possibilités de valorisation de l'OCP SA que nous avons retrouvé quand nous avons commencé en 2014. Les systèmes de valorisation OCP SA sont des modèles fonctionnels par entité avec une valorisation par famille. Les prix de cessions sont calculés par coût complet entre les entités et toutes les décisions sont prises avec une maille mensuelle. Tandis que ce que nous proposons est un système avec des modèles processuels par BU, famille et produit. Dans notre cas, nous pourrions calculer des prix de cessions avec une autre valeur que le coût complet et une maille décisionnelle hebdomadaire, journalière voire à l'heure ; nos modèles permettent de le faire et ce même si nous ne le présentons pas dans ce manuscrit.

Le tableau 25 rappelle l'état actuel du système de valorisation de Maroc Phosphore et montre les caractéristiques de nos modèles de valorisation.

Actuellement à Maroc Phosphore	Propositions testées avec le SIAD de type ABS
Modèles fonctionnels par entité	Modèles processuels par BU, famille, produit
Valorisation par famille	Valorisation par BU, famille, produit
Cessions par coût entre les entités	Cessions par une autre valeur que le coût complet
Maille mensuelle	Maille hebdomadaire, journalière voire à l'heure

Tableau 25: La différence entre le modèle actuel de valorisation et le modèle proposé

5 CONCLUSION

OCP SA se caractérise par un processus de production continu impliquant des lots à être transportés entre deux maillons de la chaîne. OCP SA a deux axes : axe sud et axe nord. L'axe nord commence par l'extraction du minerai, suivi par le lavage, ensuite le transport par trains ou par pipeline pour arriver à la plateforme chimique de JORF. Dans cette plateforme, nous avons 4 JVS et Maroc Phosphore III et IV. Dans le cadre de notre recherche, notre champ de travail est Maroc phosphore III et IV.

Avec cette CLH, nous nous retrouvons face un ensemble de décisions à prendre, la question qui se pose est la décision la plus pertinente d'un point de vue économique. Les systèmes actuels de valorisation ne nous permettent pas d'évaluer les alternatives décisionnelles parce que :

- Ils ont une maille temporelle trop faible ;
- Une granularité faible (ils traitent les familles d'engrais et non pas les sous familles) ;
- L'approche fonctionnelle ne permet pas de comprendre totalement la formation des coûts dans les processus industriels.

Le système actuel permet d'évaluer a posteriori l'ensemble des décisions prises durant une période donnée, mais pas la pertinence de chaque décision ; l'approche que nous proposons et qui se traduit par la mise en place d'un artefact logiciel de type ABS montre :

- qu'il est intéressant d'évaluer des décisions opérationnelles ou tactique avec un regard économique, car cette évaluation peut modifier la manière de travailler dans les ateliers de l'OCP ;
- que l'approche proposée est validée, que les maquettes logicielles fonctionnent, mais qu'elle nécessite encore des étapes de validation pour pouvoir être mise en œuvre dans le contexte de Maroc Phosphore.

Conclusions

Les travaux présentés dans ce manuscrit s'inscrivent dans le domaine pluriel du Supply Chain Management et visent à concevoir une suite logicielle intégrant les flux financiers dans l'aide à la décision. L'analyse de la littérature sur l'aide à la décision pour le SCM nous a montré que les contenus des couplages de modèles entre SED et modèles de valorisation ne correspondaient que très partiellement aux problèmes formalisés par les auteurs du Supply Chain Costing. Dès lors, nous avons cherché à améliorer les modèles existants et à proposer une méthodologie pour faciliter leur intégration.

L'expérience acquise pendant ce travail de recherche montre que le champ de recherche en contexte SCM ajoute un troisième niveau de complexité que nous nommons "complexité transdisciplinaire". En effet, produire des objets de recherche dans plusieurs domaines scientifiques conduit à aborder la complexité sous une forme plurielle, et demande un effort particulier pour transcrire problèmes, problématiques et productions scientifiques de manière à les rendre acceptables et valides dans chacun des domaines scientifiques sur lesquels s'appuie le SCM. Nous présenterons d'une part les implications managériales puis les implications scientifiques de notre travail avant de détailler quelques perspectives. Nos travaux ont apporté un nouvel éclairage sur les problématiques d'évaluation des performances du flux physiques et financiers. Cette conclusion générale sera structurée en deux points. Dans un premier temps, nous présenterons les apports et les limites de notre travail tandis que dans un second temps nous présenterons les perspectives de notre recherche.

Implications managériales

La mise en Supply Chain des activités de production, par une orientation production à la commande conduit à adapter le contrôle de gestion de OCP SA qui ne peut plus efficacement s'appuyer sur des données historiques, au moins pour la partie de la production qui est en flux tirés. Dans ce contexte, comme en management de projet, ce contrôle de gestion peut s'appuyer sur un référentiel dynamique qui peut s'appuyer sur le modèle de simulation construit. Ce référentiel est utilisable par un SIAD intégrant, de manière coordonnée, des préoccupations de pilotage opérationnel et tactique et celles du contrôle de gestion. Ce SIAD de type « ABS » a été testé dans le cadre de Maroc Phosphore et devrait permettre une meilleure compréhension des écarts physiques entre le prévu et le réalisé et, dans une perspective d'évaluation de décisions alternatives, de choisir les décisions les plus intéressantes d'un point de vue économique.

L'environnement logiciel de modélisation ASCI-CLH et le concept d'ABS constituent notre apport principal d'un point de vue managérial. Ainsi, nos implications managériales sont les suivantes :

- l'ABS mis en oeuvre permet d'évaluer différents scénarii logistiques (modifications des règles de gestion, planning opérationnels, tactiques, ...).
- l'ABS permet d'expliquer la formation des coûts logistiques par l'approche ABC contenu et explique également la formation des coûts dans chacune des Business Unit que contient la Supply Chain Interne, ou pour chacun des items de cette dernière, sous réserve d'avoir réellement construit un bon modèle de connaissance validé.

Conclusions

- la suite logicielle pourrait être utilisée pour fixer "arbitrairement" les prix de cessions entre les entités, prix de cession qui peuvent être sources de dysfonctionnement dans les grands groupes (les managers passant plus de temps à négocier les prix entre les entités de la firme qu'à négocier avec leurs fournisseurs [Bouquin, 2003]).
- la mise en place d'une suite de type ABS nécessite au préalable une étude de Business Process Management (BPM) pour formaliser les processus de la Supply Chain. Le recueil de la connaissance ainsi que la formalisation des processus peuvent être réutilisés pour d'autres actions que celles de constitution de l'ABS (management de la qualité, normalisation ISO, mise en place d'un ERP, reconfiguration des processus, ou management du changement comme le montre notre expérience).

Implications scientifiques :

Nous avons essayé d'étendre le décloisonnement des fonctions et des métiers que propose le SCM au monde de la recherche académique. Ce décloisonnement, pour reprendre un terme fréquemment usité dans la recherche en Sciences de Gestion, a été mené de manière exploratoire. Nous avons toujours essayé de concilier les différentes approches des disciplines scientifiques sur lesquelles s'appuie le SCM. Dans cet esprit, nous avons cherché à construire un composant méthodologique qui soit une passerelle entre plusieurs domaines scientifiques et applicables sur plusieurs champs d'expérimentations dans le cadre d'organisations complexes. Nous avons instancié ce composant méthodologique pour produire une méthodologie de modélisation dont l'objet est de permettre l'évaluation des processus organisationnels. Cette méthodologie est construite à partir d'un existant validé, qui est développé et enrichi depuis de nombreuses années au LIMOS. Les aspects transdisciplinaires que nous avons essayé d'apporter au composant méthodologique ASCI nous ont permis de concevoir l'environnement logiciel de modélisation ASCI-CLH pour le domaine des Supply Chain Hybrides. Ces aspects nous ont aussi permis de proposer une méthode et les modèles associés, intitulée PREVA (pour PROcess EVALuation) qui modélise et explique la formation des coûts en fonction des flux physique du processus logistique dans une Supply Chain, ou pour tout système contenu dans cette dernière. Le couplage de PREVA avec des modèles de simulation, permet d'obtenir des SIAD qui évaluent le processus logistique de la Supply Chain les horizons décisionnels opérationnels et avec plusieurs niveaux de modélisation.

Plus prosaïquement les apports scientifiques que nous avons proposés sont les suivants :

Notons une limite de notre réflexion, l'approche que nous avons proposée est une approche évaluative qui permet de tester plusieurs scénarios de gestion, et non pas de décider quelle est la meilleure dans l'absolue.

Ainsi, l'environnement logiciel de modélisation proposé permet de concevoir, lorsqu'il est instancié sur un système (une Supply Chain, ou un système contenu dans la Supply Chain) une suite logicielle qui évalue économiquement des décisions opérationnelles ou tactiques avec un éclairage économique. Les ABS pour Advanced Budgeting and Scheduling sont le type de suites logicielles d'aide à la décision que l'environnement de modélisation ASCI-CLH permet de concevoir. Ces suites logicielles constituent une double évolution dans les suites décisionnelles pour le SCM :

- la première évolution concerne la prise en compte des coûts, (cela ne veut pas dire que l'on oublie le flux physique) avec une intégration de modèles qui les coûts flow en

expliquant leur formation. La structuration de l'information issue des modèles d'action de l'ABS peut se faire sous forme de tableaux de bord. Les états de résultats peuvent également être structurés sous une forme comptable plus classique (profits, coûts...).

- la deuxième évolution concerne la volonté d'intégrer de manière générale la simulation à événement discret dans les suites décisionnelles logicielles pour le SCM ; cette intégration peut se faire sous la forme de couplage avec des modèles d'optimisation, ou au contraire être envisagée comme seul moteur d'évaluation des performances de la Supply Chain.

Perspectives de recherche

Nos perspectives de recherche se situent à trois niveaux. Les perspectives que nous envisageons concernent l'enrichissement de l'environnement ASCI-SCH, l'extension de son cadre d'application, et l'extension de la méthodologie de modélisation.

Relativement au premier point, les axes suivants de développement de l'environnement de modélisation sur le domaine des Supply Chains hybrides nous semblent importants :

- Intégrer, par la collaboration transdisciplinaire les aspects juridiques et fiscaux dans le contexte de l'optimisation des flux logistiques ; l'intégration juridique ouvre, d'un point de vue RO une dimension théorie des jeux dans l'aide à la décision, tandis que l'optimisation fiscale du réseau logistique de la Supply Chain d'une multinationale débouche sur des problèmes plus classiques de programmation linéaire et de partage de la valeur...
- Relier système d'information et système d'aide à la décision dans le contexte de l'entreprise étendue par le biais des approches de BPM, et notamment dans le cadre d'un contrôle de gestion « temps réel » pour OCP SA.
- Etendre des fonctionnalités de l'environnement ASCI-CLH dans le cadre de la prise de décision stratégique (création de site, prise de décision d'investissement...).
- Etude plus approfondie des couplages possibles permettant à plusieurs méthodes (exactes ou approchées, simulation...) de coopérer avec des méthodes issues du contrôle de gestion pour résoudre des problèmes théoriques, mais aussi industriels d'évaluation de performance.

Relativement au deuxième point, les axes d'extension du domaine d'application de l'environnement de modélisation nous semblent importants :

- Etendre à d'autres formes d'entreprises étendues que la Supply Chain le composant méthodologique et l'environnement ASCI-CLH en prenant en compte le comportement du client final (par exemple dans le contexte de la distribution, modélisation et simulation de réseau de distribution intégrée, modélisation et simulation de réseaux de hub dans un contexte Africain...).
- Etendre à toute forme d'organisation réticulaire le cadre conceptuel et les méthodes d'aide à la décision associées.
- Travailler sur le « triple couplage » de concepts de modélisation et de simulation avec la modélisation des comportements des acteurs sociaux (théorie des jeux, multi-agents) et l'optimisation combinatoire dans le contexte de l'entreprise étendue.

Relativement au troisième point, nous envisageons d'intégrer dans le processus de modélisation d'un système une dimension « management des comportements et gestion du

Conclusions

changement » en proposant l'élaboration d'une méthodologie de modélisation qui intègre explicitement la dimension humaine dans son processus applicatif.

Liste des figures:

Figure 1: La filière de production des Produits Phosphatés	7
Figure 2: La Supply Chain / La chaîne logistique de l'OCP SA: représentation de l'axe nord	7
Figure 3: Reliances entre contrôle de gestion et génie industriel pour la Supply Chain de l'OCP SA dans le cadre de la chaire d'optimisation industrielle	11
Figure 4: Définition d'un environnement de modélisation pour l'évaluation de la performance de la chaîne logistique hybride.	13
Figure 5: Le plan général du document	16
Figure 6: Une représentation des processus d'une chaîne logistique	20
Figure 7: Modélisation d'un processus élémentaire d'une production discrète.....	22
Figure 8: Chaîne logistique discrète	22
Figure 9: Modélisation d'un processus élémentaire d'une production continue.....	23
Figure 10: Chaîne logistique continue	23
Figure 11: Enchaînement de processus discrets et logistiques pour constituant un processus hybride.	24
Figure 12: Chaîne logistique hybride	26
Figure 13: Le pilotage de flux dans la chaîne logistique [Adapté de Babai, 2005].....	27
Figure 14: Différents niveaux de décisions dans la chaîne logistique	32
Figure 15: Modèle d'un processus de décision	33
Figure 16: Intégration du SCC dans le SCM [Fenies, 2006].....	50
Figure 17: La naissance de la méthode ABC.....	53
Figure 18: Paramètres de conception et imbrication des systèmes de valorisation.....	54
Figure 19: La gestion par activités adaptée de [Emerland, 2013]	60
Figure 20: Couplage ABC – SED	72
Figure 21: Du composant méthodologique ASCI au logiciel d'aide à la décision pour un système complexe.....	75
Figure 22: Instanciation du Composant méthodologique ASCI pour la méthodologie par processus multiples et incrémentiels dans le contexte de notre projet de recherche	77
Figure 23: les activités du flux physique d'un processus élémentaire	78
Figure 24: les activités du flux financier d'un processus élémentaire	78
Figure 25: Un processus élémentaire	78
Figure 26: Décomposition d'un système composé de processus multiple.....	79
Figure 27: les principaux flux de matières, les flux financiers, et d'informations.....	80
Figure 28: Hiérarchie d'agrégation, hiérarchie d'héritage et niveau de modélisation dans le modèle de connaissance.....	82
Figure 29: Hiérarchie d'agrégation de processus multiples et incrémentiels et niveau de modélisation.....	83
Figure 30: Chaîne de valeur pour la représentation d'un processus multiple et incrémentiel avec ARIS	83
Figure 31: Chaîne de Processus Évènementielle pour un agencement de processus multiples et incrémentiels	84
Figure 32: Exemple d'un processus continu	85
Figure 33: Principe de discrétisation des flux.....	85
Figure 34: Discrétisation du processus continu.....	85
Figure 35: primitives de base.....	86

Figure 36: Primitive Stock Capacitaire	87
Figure 37: Primitive Convertisseur	88
Figure 38: Primitive Processeur continu	88
Figure 39: Primitive d'un processus continu avec explicitation de nomenclature	88
Figure 40: Utilisation de la primitive d'un processus continu (avec explicitation de nomenclature)	89
Figure 41: Primitive d'un processus continu avec explicitation de nomenclature et utilisation de convertisseurs	89
Figure 42: Primitive d'un processus continu avec prise en compte de son régime de marche	90
Figure 43: Primitive vanne de distribution	90
Figure 44: Primitive éclatement de gestion des ordres de fabrication d'un processus continu	91
Figure 45: Connexion de la primitive éclatement avec la primitive processeur continu avec explicitation de la nomenclature	92
Figure 46: Exemple de réplication de 3 processeurs identiques	93
Figure 47 : Les entités nécessaires pour construire un système de valorisation centré processus.....	94
Figure 48: Les entités nécessaires pour construire un système d'évaluation par les processus sur un système complexe organisationnel de type CLH	95
Figure 49: Passage du modèle générique de connaissance vers une vue simulation.....	96
Figure 50: Modification des classes et de leurs hiérarchies lors de la construction de l'environnement.....	97
Figure 51: Le cadre général de l'approche PREVA	98
Figure 52: Point de passage du continu au discret	100
Figure 53: Les différentes hypothèses du périmètre financier d'une BU pour un niveau de granularité donnée.	101
Figure 54: Etat actuel de ASCI-CLH	104
Figure 55: Une suite logicielle de type Advanced Budgeting and Scheduling	105
Figure 56: Les composants logiciels du noyau applicatif d'un ABS.....	107
Figure 57: Déploiement du noyau applicatif de l'ABS sur l'ensemble de la CL.....	108
Figure 58: Modèle agrégé de la chaîne logistique OCP SA – Axe Nord	110
Figure 59: Infrastructure physique de la plateforme chimique JORF.....	111
Figure 60: ASCI-CLH mis en oeuvre pour OCP SA.....	113
Figure 61: Modèle processuel de la famille ACIDE.....	118
Figure 62: Modèle processuel de la famille ENGRAIS pour une ligne de production	119
Figure 63: Coût complet / Coût partiel	122
Figure 64: diagramme d'expression de la demande d'échange [adapté d'une présentation de l'OCP].....	124
Figure 65: Diagramme de la réunion d'échange [adapté d'une présentation de l'OCP]	124
Figure 66: Règles de gestion des maintenances [adapté d'une présentation de l'OCP]	128
Figure 67: Exemple de 3 sous systèmes SSP, SSL, SSD connectés pour l'atelier d'engrais	129
Figure 68: Approche PREVA instanciée pour l'OCP	130
Figure 69: Modèle de simulation de l'atelier sulfurique	131
Figure 70: Modèle de simulation de l'atelier phosphorique	132

Figure 71: Modèle de simulation de l'atelier d'engrais	132
Figure 72: Interface de saisie de décisions.....	133
Figure 73: Modèle de coût par ligne par heure et par processeur	135
Figure 74: Définition des inducteurs de coûts	137
Figure 75: Coût variable pour toutes les qualités	137
Figure 76: Application de couplage ABC – SED Acide	139
Figure 77: Variation du coût variable direct et du coût de support.....	140
Figure 78: Découpage de la CLH de l'OCP	141

Liste des tableaux:

Tableau 1: Le couplage des horizons décisionnels et des approches de modélisation pour déterminer l'objet des instrumentations proposées.	12
Tableau 2: Différences entre les trois types de processus logistiques.	24
Tableau 3 a: Techniques de simulation et nature de la chaîne logistique modélisée	45
Tableau 3 b: Techniques de simulation et nature de la chaîne logistique modélisée	45
Tableau 4: Approche ABC	58
Tableau 5: Couplage ABC/Simulation.....	63
Tableau 6: Les points forts et faibles de TOVE	66
Tableau 7: Les points forts et faibles d'INPIM	67
Tableau 8: Les points forts et faibles de PREVA.....	67
Tableau 9: La construction des tableaux de bord décisionnels	102
Tableau 10: D'une suite APS à une suite ABS pour la Supply Chain	106
Tableau 11: Liste des matières premières, produits semi finis et produits finis	115
Tableau 12: Charges fixes et variables	134
Tableau 13: Modèle de coût pour une ligne de production d'engrais (données proformat)	136
Tableau 14: Un exemple de résultats de simulation.....	138
Tableau 15: Résultats de couplage (données pro .format).....	140
Tableau 16: Instanciation de la démarche pour la construction de tableaux de bord décisionnel	143
Tableau 17: Résultats du scénario 1 engrais	144
Tableau 18: Résultats du scénario 1 engrais	144
Tableau 19: Scénario d'augmentation du régime de marche	145
Tableau 20: Résultats du scénario d'augmentation du régime de marche.	145
Tableau 21: Résultats du scénario d'augmentation du régime de marche.	145
Tableau 22: Scénario d'augmentation du régime de marche ACIDE	146
Tableau 23: Résultats du scénario d'augmentation du régime de marche.	146
Tableau 24: Scénario de décalage de maintenance.	147
Tableau 25: La différence entre le modèle actuel de valorisation et le modèle proposé.....	148

Bibliographie

- Aalst, W. van der, Hofstede, A.H.M. ter, Weske, M., 2003. Business Process Management: A Survey, in: Business Process Management, Lecture Notes in Computer Science. Presented at the International Conference on Business Process Management, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 1–12.
- Abduaziz, O., Cheng, J.K., Tahar, R.M., Varma, R., 2015. A Hybrid Simulation Model for Green Logistics Assessment in Automotive Industry. *Procedia Engineering*, 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2014 100, 960–969.
- Alazard, C., Sépari, S., 2010. DCG 11 - Contrôle de gestion 750.
- Andre, V., Grangeon, N., Norre, S., Philippe, F., 2012. RCPSP et temps de montage dépendant de la séquence pour la modélisation et la résolution d'un problème de livraison collective, in: 9th International Conference on Modeling, Optimization et simulation. Bordeaux, France.
- Andreu, D., Pascal, J.C., Valette, R., 1996. Events as a key of a batch process control system, in: CESA'96 IMACS Multiconference: Computational Engineering in Systems Applications. pp. 297–302.
- Anthony, R.N., 1965. Planning and control systems: a framework for analysis. Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University.
- Arer, M.M., Ozdemirel, N.E., 1999. Simulation of capacity expansion and sequencing alternatives for a sheet metal producer. *J Oper Res Soc* 50, 596–607.
- Armstrong, P., 2002. The costs of activity-based management. *Accounting, Organizations and Society* 27, 99–120.
- Arthur, J.D., Nance, R.E., Henry, S.M., 1986. A Procedural Approach to Evaluating Software Development Methodologies: The Foundation. Virginia Polytechnic Institute & State University, Blacksburg, VA, USA.
- Askarany, D., Yazdifar, H., Askary, S., 2010. Supply chain management, activity-based costing and organisational factors. *International Journal of Production Economics, Supply Chain Planning and Configuration in the Global Arena* 127, 238–248.
- Babai, M.Z., 2005. Politiques de pilotage de flux dans les chaînes logistiques : impact de l'utilisation des prévisions sur la gestion de stocks (phdthesis). Ecole Centrale Paris.
- Baines, T.S., Harrison, D.K., Kay, J.M., Hamblin, D.J., 1998. A consideration of modelling techniques that can be used to evaluate manufacturing strategies. *Int J Adv Manuf Technol* 14, 369–375.
- Beek, D.A.V., Rooda, J.E., 2000. Languages and applications in hybrid modelling and simulation: Positioning of Chi. *Control Engineering Practice. Control Eng. Practice* 8, 81–91.
- Ben Taher, M., 1970. Management composants et processus, ed. Publibook, Paris.
- Ben-Arieh, D., Qian, L., 2003. Activity-based cost management for design and development stage. *International Journal of Production Economics* 83, 169–183.
- Berliner, C., Brimson, J.A., 1988. Cost Management for Today's Advanced Manufacturing: The Cam-I Conceptual Design. Harvard Business School Press, Boston, Mass.
- Bernus, P., Mertins, K., Schmidt, G.J. (Eds.), 2006. Handbook on Architectures of Information Systems, 2nd ed, International Handbooks on Information Systems. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Bibliographie

- Berry, A.J., Cullen, J., Dunlop, A., Ahmed, M., Seal, W.B., 2000. The Consequences of Inter-firm Supply Chains for Management Accounting. Chartered Institute of Management Accountants.
- Betts, J.M., 2014. Minimizing Inventory Costs for Capacity-constrained Production Using a Hybrid Simulation Model. *Procedia Computer Science*, 2014 International Conference on Computational Science 29, 759–768.
- Biteau R., Biteau S., 2003. La maîtrise des flux industriels, Gestion et économie, Editions d'organisation.
- Boons, A.N.A.M., 1998. Product costing for complex manufacturing systems. *International Journal of Production Economics* 55, 241–255.
- Bouquin, H., 2003. La comptabilité de Gestion, 2ème édition, Collection Que sais-je, Presses Universitaires de France (PUF), Paris.
- Bouquin, H., 2008. Le contrôle de gestion, Gestion. Presses Universitaires de France - P.U.F.
- Bouquin, H., 2003. La modélisation des flux internes par la comptabilité de gestion. Que sais-je ? 3e éd., 57–88.
- Brandenburg, H., Wojtyna, J.-P., 2009. L'approche processus mode d'emploi.
- Briers, M., Fong Chua, W., 2001. The Role of Actor-Networks and Boundary Objects in Management Accounting Change: A Field Study of An Implementation of Activity-Based Costing. *Accounting, Organizations and Society* 26, 237–269.
- Bruniaux H., Caux C., Pierreval H., 2000. An aggregation procedure for the continuous simulation of production units organised in network. in: Proceedings of the IFAC Conference Management and Control of Production and Logistics, July 5–8, Grenoble, France.
- Buntins, M., Schicke, J.-W., Eggert, F., Goltz, U., 2013. Hybrid Automata as a Modelling Approach in the Behavioural Sciences. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 297, 47–59.
- Cattan M., Idrissi N., Knockaert P., 2001. Maîtriser les processus de l'entreprise. Guide opérationnel. Ed d'Organisation, Paris, 288 p.
- Chabrol, M., 1986. Développement et utilisation de QNAP2 pour l'évaluation des performances par modèles analytiques (PhD Thesis).
- Chabrol, M., Fenies, P., Gourgand, M., Tchernev, N., 2006. Un environnement de modélisation pour le système d'information de la Supply Chain. Application au Nouvel Hôpital Estaing. *Ingénierie des Systèmes d'Information* 11, 137–162.
- Chan, K.K., Spedding, T.A., 2003. An integrated multidimensional process improvement methodology for manufacturing systems. *Computers & Industrial Engineering* 44, 673–693.
- Chanal, V., Lesca, H., Martinet, A.C., 2017. Recherche ingénierique et connaissances procédurales en sciences de gestion : réflexions épistémologiques et méthodologiques 13.
- Charkaoui, A., 1997. Doctorat PhD : Logistique, Supply Chain Management (SCM) & le Management des Opérations
- Chatras, C., 2016. Contribution à la gestion de la personnalisation de masse 265.
- Chen, E.J., Lee, Y.M., Selikson, P.L., 2002. A simulation study of logistics activities in a chemical plant. *Simulation Modelling Practice and Theory* 10, 235–245.
- Chiapello, E., Delmond, M.-H., 1994. Les tableaux de bord de gestion, outils d'introduction du changement. *Revue Française de Gestion* n° 97, 49–58.
- Christopher, M., 2003. *Marketing Logistics* 2ed, 2 edition. ed. Routledge, Abingdon.
- Christopher, M., 1999. *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Service* (Second Edition). *International Journal of Logistics Research and Applications* 2, 103–104.

- Christopher, M., 1998. *Logistics and Supply Chain Management*, 2 edition. ed. Financial Times Prentice Hall, London.
- Christopher, M., Ryals, L., 1999. Supply Chain Strategy: Its Impact on Shareholder Value. *Int Jnl Logistics Management* 10, 1–10.
- Coatannoan et Talec, 2000. Élaboration de tableaux de bord et choix d'indicateurs pertinents pour le plateau technique hospitalier. *ITBM-RBM* 21, 113–120.
- Collomp, R., Mousnier, A., Staccini, P., Quaranta, J.-F., Aloui, S., Chapurlat, V., Penalva, J.-M., 2007. Proposition de modélisation de la performance par le biais du management des risques: application au circuit du médicament. *Logistique & Management* 15, 75–83.
- Comelli, M., Fenies, P., Gourgand, M., Tchernev, N., 2005. A generic evaluation model for cash flow and activity based costing in a company supply chain, in: *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management IESM*.
- Comelli, M., Fenies, P., Tchernev, N., 2008. A combined financial and physical flows evaluation for logistic process and tactical production planning: Application in a company supply chain. *International journal of production economics* 112, 77–95.
- Cooper, M.C., Lambert, D.M., Pagh, J.D., 1997. Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics. *Int Jnl Logistics Management* 8, 1–14.
- Cooper, R., Kaplan, R.S., 1999. *Design of Cost Management Systems*.
- Cooper, R., Slagmulder, R., 1999. *Supply Chain Development for the lean enterprise Interorganisational Cost Management*, Productivity Press, Portland.
- Cossard, N., 2004. Un environnement logiciel de modélisation et d'optimisation pour la planification de la production dans la chaîne logistique. *Clermont-Ferrand* 2.
- Crance, J., Castellano, J., Roehm, H.A., 2001. SPC Enhances ABC 43.
- Cross, K., Lynch, R., 1989. Accounting for competitive performance. *Journal of Cost Management* 3, 20–28.
- Dallery, Y., 2000. Notes de cours de logistique industrielle. Ecole Centrale Paris.
- David, R., 1991. Modeling of dynamic systems by Petri nets, in: *Proceedings of the 1st European Control Conference*. pp. 136–147.
- David, R., Alla, H., 2001. On Hybrid Petri Nets. *Discrete Event Dynamic Systems* 11, 9–40.
- David, R., Alla, H., 1994. Petri nets for modeling of dynamic systems: A survey. *Automatica* 30, 175–202.
- De Kok, T.G., Fransoo, J.C., 2003. Planning Supply Chain Operations: Definition and Comparison of Planning Concepts, in: *Handbooks in Operations Research and Management Science*. Elsevier, pp. 597–675.
- Degoun, M., Drissi, A., Fenies, P., Giard, V., Retmi, K., Saadi, J., 2014a. General Use of the Routing Concept for Supply Chain Modeling Purposes: The Case of OCP S.A., in: *Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World*, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Presented at the IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 323–333.
- Degoun, M., Drissi, A., Fénies, P., Giard, V., Retmi, K., Saadi, J., 2014b. Généralisation du concept de gamme pour modéliser les processus logistiques d'une Supply Chain: le Cas de l'OCP, in: *MOSIM 2014, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation*. Nancy, France.
- Demongodin, I., Koussoulas, N.T., 1998. Differential Petri nets: Representing continuous systems in a discrete-event world in: *IEEE Transactions on automatic control* Vol. 43, NO. 4.

Bibliographie

- Demongodin, I., Koussoulas, N.T., 1998. Modelling of Hybrid Control Systems using Petri Nets in Proc. 3rd Int. Conf. ADPM'98 (Automatisation des Processus Mixtes: les Systemes Dynamiques Hybrides, Reims, France.
- Durieux, S., Pierreval, H., 2004. Regression metamodeling for the design of automated manufacturing system composed of parallel machines sharing a material handling resource. *International Journal of Production Economics* 89, 21–30.
- Ecosip, n.d. Pilotages de projet et entreprises - Diversités et convergences, Economica. ed.
- Edvinsson, L., Malone, M., 1997. *Intellectual Capital: Realizing Your Company's True Value by Finding Its Hidden Brainpower*
- Egret, P., 2013a. Synchronisation des flux physiques et financiers: mise en évidence de l'échec du déploiement d'un ERP au travers d'une étude de cas 382.
- Egret, P., 2013b. Synchronisation des flux physiques et financiers : mise en évidence de l'échec du déploiement d'un ERP au travers d'une étude de cas (phdthesis). Université Nice Sophia Antipolis.
- Ellram, L.M., 1991. Supply-Chain Management: The Industrial Organisation Perspective. *Int Jnl Phys Dist & Log Manage* 21, 13–22.
- Engel, F., Kletz, F., 2007. *Cours de comptabilité analytique*, 76 pages. Editeur : Presses des Mines-Transvalor.
- Epstein, M., Manzoni, J.-F., 1998. Implementing corporate strategy: From Tableaux de Bord to balanced scorecards. *European Management Journal* 16, 190–203.
- Essaid, M., 2013. Modélisation et simulation de la connectivité des flux logistiques dans les réseaux manufacturiers 224.
- Falster, P., 1987. Planning and controlling production systems combining simulation and expert systems. *Computers in industry* 8, 161–172.
- Fawcett, S.E., Magnan, G.M., 2001. Achieving world-class supply chain alignment: benefits, barriers, and bridges. Center for Advanced Purchasing Studies Tempe, AZ.
- Fenies, P., 2006. Une méthodologie de modélisation par processus multiples et incrémentiels: application pour l'évaluation des performances de la Supply Chain 343.
- Fenies, P., Fontane, F., Giard, V., Retmi, K., Saadi, J., 2016. Building an operational controlling system for continuous or hybrid supply chains 9.
- Fenies, P., Gautier, F., Lagrange, S., 2014. A Decisional Modeling for Network Franchise and Supply Chain Management. *Supply Chain Forum: An International Journal* 15, 52–64.
- Fenies, P., Gourgand, M., Tchernev, N., 2004a. A framework for supply chain performance evaluation, in: *Congresso Internacional de Pesquisa Em Logistica*. pp. 1–12.
- Fenies, P., Gourgand, M., Tchernev, N., 2004b. Une contribution à la mesure de la performance dans la supply chain hospitalière: L'exemple du processus opératoire, in: *2ème Conférence Francophone En Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH)*, Mons.
- Fenies, P., Lagrange, S., Tchernev, N., 2010. A decisional modelling for supply chain management in franchised networks: application in franchise bakery networks. *Production Planning & Control* 21, 595–608.
- Fernandez, A., 2013. *Les nouveaux tableaux de bord des managers*
- Fingar, P., Bellini, J., 2004. *The Real-Time Enterprise : Competing on Time with the Revolutionary Business S-Ex Machine*. Meghan Kiffer Pr, Tampa, Fla.
- Floudas, C.A., Lin, X., 2004. Continuous-time versus discrete-time approaches for scheduling of chemical processes: a review. *Computers & Chemical Engineering* 28, 2109–2129.

Bibliographie

- Fox, M.S., 1992. The tove project towards a common-sense model of the enterprise, in: International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems. Springer, pp. 25–34.
- Francois, J., n.d. Planification des chaînes logistiques: modélisation du système décisionnel et performance 195.
- Frazelle, E., 2002. Supply chain strategy: the logistics of supply chain management. McGraw Hill.
- Galland, S., 1992. Approche multi-agents pour la conception et la construction d'un environnement de simulation en vue de l'évaluation des performances des ateliers multi-sites 307.
- Gallois, P.M., 1996. De la pierre à la cathédrale, les indicateurs de performance. Ouvrage collectif du club de Production et compétitivité, Edition Londez, Paris.
- Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E., Zaffalon, M., 1998. Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal. SIMULATION 71, 107–116.
- Genc, E., Duffie, N., Reinhart, G., 2014. Event-based Supply Chain Early Warning System for an Adaptive Production Control. Procedia CIRP, 2nd CIRP Robust Manufacturing Conference (RoMac 2014) 19, 39–44.
- Genin, P., 2003. Planification tactique robuste avec usage d'un advanced planning system: Proposition d'un mode de gestion par plan de référence (PhD Thesis). Paris, ENMP.
- Geunes, J., Chang, B., 2001. <IndexTerm Type="Subject">Operations Research Models for Supply Chain Management and Design</IndexTerm>, in: Encyclopedia of Optimization. Springer, Boston, MA, pp. 1803–1815.
- Ghaeli, M., al., 2008. Scheduling of a mixed batch/continuous sugar milling plant using Petri nets Computers & Chemical Engineering 32, 580–589.
- Ghomri, L., Alla, H., 2008. Modeling and Analysis of Hybrid Dynamic Systems Using Hybrid Petri Nets.
- Giambiasi, N., Carmona, J.C., 2006. Generalized discrete event abstraction of continuous systems: GDEVS formalism. Simulation Modelling Practice and Theory 14, 47–70.
- Giannini, P.J., Grupe, F.H., Saholsky, R.M., 1997. Reengineering Through Simulation Modeling. Information Systems Management 14, 61–66.
- Giard, V., 2003. Gestion de la production et des flux. Collection gestion Editions Economica – Paris, France.
- Giard, V., Boitout-Pappalardo, V., Bonmarchand, P., 1996. Apport de la simulation à la conception et l'interprétation de tableaux de bord et à la comptabilité de gestion, The contribution of simulation to the conception and interpretation of operating reports and management accounting. Comptabilité - Contrôle - Audit Tome 2, 65–84.
- Goldbach, M., 2002. Organizational settings in supply chain costing, in: Cost Management in Supply Chains. Springer, pp. 89–108.
- Gourgand, M., Kellert, P., 1991. Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production, in: Actes Du Troisieme Congrès International de Génie Industriel, Tours, France. pp. 191–203.
- Govil, M., Proth, J.-M., 2002. Supply Chain Design and Management: Strategic and Tactical Perspectives, 1 edition. ed. Academic Press, San Diego.
- Grangeon, N., 2001. Métaheuristique et modèles d'évaluation pour le problème du Flow-Shop hybride hiérarchisé: contexte déterministe et contexte stochastique (PhD Thesis).
- Gruninger and fox, 1995. Methodology for the design and evaluation of ontologies. Department of industrial Engineering University of Toronto, Toronto, Canada M5S 1A4.

Bibliographie

- Grüniger, M., Atefi, K., Fox, M.S., 2000. Ontologies to Support Process Integration in Enterprise Engineering. *Computational & Mathematical Organization Theory* 6, 381–394.
- Gu, T., Bahri, P.A., 2002. A Survey of Petri Net Applications in Batch Processes. *Comput. Ind.* 47, 99–111.
- Gunasekaran, A., Sarhadi, M., 1998. Implementation of activity-based costing in manufacturing. *International Journal of Production Economics, Production Economics: The Link Between Technology And Management* 56–57, 231–242.
- Gunasekaran, A., Williams, H.J., McGaughey, R.E., 2005. Performance measurement and costing system in new enterprise. *Technovation* 25, 523–533.
- Gupta, A., 2001. A four-faceted knowledge-based approach to surmounting borders. *J of Knowledge Management* 5, 291–299.
- Hamaidi, L., Bourseau, P., Muratet, G., Cerf, O., Sadoudi, A.K., 1994. A mixed discrete-continuous approach for the simulation of bacterial contamination and growth in a food process. *Computers & chemical engineering* 18, S633–S637.
- Hammer, M., Champy, J., 2009. *Reengineering the Corporation: Manifesto for Business Revolution*, A. Zondervan.
- Hau L. Lee, Corey Billington, 1993. Material Management in Decentralized Supply Chains. *Operations Research* 41, 835–847.
- Heeramum, K., 2003. *Création et captation de la valeur dans la supply chain: développement d'un outil d'aide à la décision (PhD Thesis)*. Thèse de doctorat soutenue à CRETLOG, Université Aix Marseille II.
- Henzinger, T.A., 1996. *The Theory of Hybrid Automata* y 30.
- Holland, C.P., Shaw, D.R., Kawalek, P., 2005. BP's Multi-enterprise Asset Management System. *Inf. Softw. Technol.* 47, 999–1007.
- Hopcroft HJ, Motwani R, Ullman JD, 2006. *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*, 3rd ed. Pearson, Boston.
- Ingalls, R.G., 1998. The Value of Simulation in Modeling Supply Chains, in: *Proceedings of the 30th Conference on Winter Simulation, WSC '98*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, pp. 1371–1376.
- Kadipasaoglu, S.N., Xiang, W., Khumawala, B.M., 1999. Batch scheduling in a multistage, multiproduct manufacturing system – an application. *Int Jrnl of Op & Prod Mngemnt* 19, 421–437.
- Kaplan, R.S., Norton, D.P., 2005. The Balanced Scorecard, measures that drives performance, *Harvard Business Review*, Volume 70, Issue 1, p .71-79.
- Kaplan, R.S., Norton, D.P., 1998. *Le tableau de bord prospectif - Pilotage stratégique, les 4 axes du succès, édition Française*, Les éditions d'Organisation, Paris.
- Kaplan, R.S., Norton, D.P., 1993. Putting the Balanced Scorecard to work, *Harvard Business Revieix*, Volume 71, Issue 5, p. 53-79.
- Kearney, A.T., 1994. *Management approach to supply chain integration*. Rapport des membres de l'équipe de recherche AT Kearney, Chicago.
- Kee, R., 1995. Integrating Activity-Based Costing With the Theory of Constraints to Enhance Production-Related Decision Making. *Accounting Horizons* 9, 48–61.
- Kee, R., Schmidt, C., 2000. A comparative analysis of utilizing activity-based costing and the theory of constraints for making product-mix decisions. *International Journal of Production Economics* 63, 1–17.

- Koh, S.C.L., 2004. MRP-Controlled Batch-Manufacturing Environment under Uncertainty. *The Journal of the Operational Research Society* 55, 219–232.
- Kopczak, L.R., 2009. Logistics partnerships and supply chain restructuring: survey results from the u.s. computer industry. *Production and Operations Management* 6, 226–247.
- Krishnamurthi, M., Jayashankar, R., Phillips, D.T., 1990. An Activity Based Costing Interface to Manufacturing Simulation. *Transactions of North American Manufacturing Research Institute of the Society of Manufacturing Engineers* 22, 357–363.
- Kulmala, H.I., Paranko, J., Uusi-Rauva, E., 2002. The role of cost management in network relationships. *International Journal of Production Economics* 79, 33–43.
- Kumar, S., Nigmatullin, A., 2011. A system dynamics analysis of food supply chains – Case study with non-perishable products. *Simulation Modelling Practice and Theory* 19, 2151–2168.
- Kyamakya, K., Jobmann, K., 2005. Location management in cellular networks: classification of the most important paradigms, realistic Simulation framework, and relative performance analysis. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 54, 687–708.
- Labadi, K., 2009. Contribution à la modélisation et à l'évaluation de performances des systèmes logistiques à l'aide d'un nouveau modèle de réseaux de Petri stochastiques 217.
- Labarthe, O., Espinasse, B., Ferrarini, A., Montreuil, B., 2007. Toward a methodological framework for agent-based modelling and simulation of supply chains in a mass customization context. *Simulation Modelling Practice and Theory* 15, 113–136.
- LaLonde, B.J., Pohlen, T.L., 1996. Issues in Supply Chain Costing. *International Journal Logistics Management* 7, 1–12.
- Lange, J., Bergs, F., Weigert, G., Wolter, K.-J., 2012. Simulation of capacity and cost for the planning of future process chains. *International Journal of Production Research* 50, 6122–6132.
- Lapide, L., 2000. What about measuring supply chain performance. *Achieving Supply Chain Excellence Through Technology* 2, 287–297.
- Launois, R., 1995. Typologie des coûts en comptabilité analytique In : Ateliers de la Transparence « Comparaison des coûts des thérapeutiques dans le dossier de la transparence » Document discuté durant les Travaux de l'Atelier n° 6, Modérateurs F. Fagnani (CEMKA) & B. Genesté.
- Lauras, M., 2004. Méthodes de diagnostic et d'évaluation de performance pour la gestion de chaînes logistiques : application à la coopération maison-mère – filiales internationales dans un groupe pharmaceutique et cosmétique 195.
- Le Moigne, J.-L., 1977. *Théorie du système général - Théorie de la modélisation*.
- Lee, T.-R., Kao, J.-S., 2001. Application of simulation technique to activity-based costing of agricultural systems: a case study. *Agricultural Systems* 67, 71–82.
- Lee, Y.H., Cho, M.K., Kim, S.J., Kim, Y.B., 2002. Supply Chain Simulation with Discrete-continuous Combined Modeling. *Comput. Ind. Eng.* 43, 375–392.
- Lefebvre, G., n.d. *Comptable 1998 - Traité des normes et réglementations comptables applicables aux entreprises industrielles et commerciales en France*.
- Lesca, H. Lesca, E., 2010. *Gestion de l'information : qualité de l'information et performances de l'entreprise*.
- Lin, B., Collins, J., Su, R.K., 2001. Supply chain costing: an activity-based perspective. *Int Jnl Phys Dist & Log Manage* 31, 702–713.
- Lin, W.-J., Jiang, Z.-B., Liu, R., Wang, L., 2014. The bullwhip effect in hybrid supply chain. *International Journal of Production Research* 52, 2062–2084.

Bibliographie

- Liu, C.-M., 1999. Clustering techniques for stock location and order-picking in a distribution center. *Computers & Operations Research* 26, 989–1002.
- Lohman, C., Fortuin, L., Wouters, M., 2004. Designing a performance measurement system: A case study. *EUR J OPER RES* 2004, 267–286.
- Lorino, P., 2009. Méthodes et pratiques de la performance: le pilotage par les processus et les compétences. Ed. d'Organisation, Paris.
- Lorino, P., Tarondeau, J.-C., 2006. De la stratégie aux processus stratégiques. *Revue française de gestion* no 160, 307–328.
- Lu, D.D., 2011. *Fundamentals of Supply Chain Management* 112.
- Lyneis, J.M., 2000. System dynamics for market forecasting and structural analysis. *System Dynamics Review* 16, 3–25.
- Lysons, K., Gillingham, M., 2003. *Purchasing and Supply Chain Management*, 780pp. FT Prentice Hall, England.
- Mahal, I., Hossain, M.A., 2015. Activity-Based Costing (ABC) – An Effective Tool for Better Management. *Research Journal of Finance and Accounting* 6, 66–73.
- Mathe, H., Tixier, D., Colin, J., 1983. *La Logistique au service de l'entreprise moyens mécanismes et enjeux*.
- Mehafdi, M., 2002. Transfer Pricing in Supply Chains: An Exercise in Internal Marketing and Cost Management, in: *Cost Management in Supply Chains*. Physica, Heidelberg, pp. 147–163.
- Mehra, S., Inman, R.A., Tuite, G., 2006. A simulation-based comparison of batch sizes in a continuous processing industry. *Production Planning & Control* 17, 54–66.
- Melouk, S.H., Freeman, N.K., Miller, D., Dunning, M., 2013. Simulation optimization-based decision support tool for steel manufacturing. *International Journal of Production Economics* 141, 269–276.
- Mendes, A.R., Ramos, A.L., Simaria, A.S., Vilarinho, P.M., 2005. Combining heuristic procedures and simulation models for balancing a PC camera assembly line. *Computers & Industrial Engineering* 49, 413–431
- Mensah, P., Merkurjev, Y., 2014. Supply Chain Resilience: The Flow of Information Q3 Continuity Magazine of the Business Continuity Institute ISSN 2046 5874 (Online) page 47.
- Mentzer John T., DeWitt William, Keebler James S., Min Soonhong, Nix Nancy W., Smith Carlo D., Zacharia Zach G., 2011. Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics* 22, 1–25.
- Mercier, J., 2002. *L'administration publique : de l'école classique au nouveau management public*, les presses de l'université Laval ISBN 2-7637-7831-3 pp 142-146
- Mevellec, P., 1990. Coût complet à base d'activités: une étude comparative.
- Mokhtari, A., 2007. Diagnostic des systèmes hybrides: développement d'une méthode associant la détection par classification et la simulation dynamique 144.
- Monereau, M., 2007. *Management des organisations touristiques 1re et 2e années : BTS Ventes et Productions touristiques ; BTS Animation et Gestion touristiques locales ; formations supérieures*, 2e édition. ed. Bréal, Rosny-sous-Bois.
- Morana, J., 2002. *Le couplage supply chain management-tableau de bord stratégique: une approche exploratoire (PhD Thesis)*. Aix Marseille 2.
- Mougin, Y., 2002. *La cartographie des processus*. Éditions d'Organisation, 2002 ISBN : 2-7081-2690-3
- New, S.J., Payne, P., 1995. Research frameworks in logistics: three models, seven dinners and a survey. *Int Jnl Phys Dist & Log Manage* 25, 60–77.

- Nidumolu, S.R., Menon, N.M., Zeigler, B.P., 1998. Object-oriented business process modeling and simulation: A discrete event system specification framework. *Simulation Practice and Theory* 6, 533–571.
- Norre, S., 2005. Heuristiques et métaheuristiques pour la résolution de problèmes d'optimisation combinatoire dans les systèmes de production. Habilitation à diriger des recherches, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.
- Ouzizi, L., 2005. Planification de la production par co-décision et négociation de l'entreprise virtuelle. Thèse de doctorat de l'université de Metz.
- Owens, S.F., Levary, R.R., 2002. Evaluating Design Alternatives of an Extruded Food Production Line Using Simulation.
- Özbayrak, M., Akgün, M., Türker, A.K., 2004. Activity-based cost estimation in a push/pull advanced manufacturing system. *International Journal of Production Economics* 87, 49–65.
- Özbayrak, M., C. Papadopoulou, T., Akgun, M., 2007. Systems dynamics modelling of a manufacturing supply chain system. *Simulation Modelling Practice and Theory* 15, 1338–1355.
- Paché, G., Aurifeille, J.-M., Colin, J., Fabre-Costes, N., 1997. *Management logistique - Une approche transversale*. Editions Litec, Paris.
- Park, C., Park, J.-C., Byeon, G.-G., Kim, H.-G., Kim, J., 2006. Steel stock management on the stockyard operations in shipbuilding: a case of Hyundai Heavy Industries. *Production Planning & Control* 17, 1–12.
- Pfeil, G., Holcomb, R., Muir, C.T., Taj, S., 2000. Visteon's Sterling plant uses simulation-based decision support in training, operations, and planning. *Interfaces* 30, 115–133.
- Pienaar, W., 2009. *Introduction to business logistics*. Southern Africa: Oxford University.
- Pienaar, W., Vogt, J., Cronjé, C., Bod, A. de, Havenga, J., Kussing, U., Nilsson, F., Eeden, J. van, 2017. *Business Logistics Management, Fifth Edition*. ed. Oxford University Press, Oxford, New York.
- Pierreval, H., Bruniaux, R., Caux, C., 2007a. A continuous simulation approach for supply chains in the automotive industry. *Simulation Modelling Practice and Theory* 15, 185–198.
- Pierreval, H., Bruniaux, R., Caux, C., 2007b. A continuous simulation approach for supply chains in the automotive industry. *Simulation Modelling Practice and Theory* 15, 185–198.
- Pike, R.H., Tayles, M.E., Mansor, N.N.A., 2011. Activity-based costing user satisfaction and type of system: A research note. *The British Accounting Review* 43, 65–72.
- Pirard, F., Iassinovski, S., Riane, F., 2006. Une démarche hybride d'aide à la décision pour la reconfiguration et la planification stratégique des réseaux logistiques des entreprises multi-sites. Presented at the 6ème Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation – MOSIM'06.
- Poirier, C.C., Reiter, S.E., 1996. *Supply Chain Optimization: Building the Strongest Total Business Network*. Berrett-Koehler Publishers.
- Porter, 2003. *L'avantage concurrentiel. Comment devancer ses concurrents et maintenir son avance*. 648 Pages, collection : Stratégies et management.
- Potočnik, B., Bemporad, A., Torrisi, F.D., Mušič, G., Zupančič, B., 2004. Hybrid modelling and optimal control of a Multiproduct Batch Plant. *Control Engineering Practice* 12, 1127–1137.
- Pyke, J., 2006. *BPM in Context: Future Now and in the Future*. WfMC, Workflow Handbook.
- Rabelo, L., Helal, M., Jones, A., Min, H.-S., 2005. Enterprise simulation: a hybrid system approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 18, 498–508.
- Raghu, T.S., Vinze, A., 2005. A business process context for Knowledge Management.

- Rakotondranaivo, A., Grandhaye, J.P., 2004. Modélisation et optimisation des processus dans les organisations hospitalières en réseau. Concepts et étude de cas en oncologie, in: 2ème Conférence Francophone En Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH), Mons.
- Ramadge, P.J.G., Wonham, W.M., 1989. The control of discrete event systems. *Proceedings of the IEEE* 77, 81–98.
- Rasmussen, R.R., Savory, P.A., Williams, R.E., 1999. Integrating simulation with activity-based management to evaluate manufacturing cell part sequencing. *Computers & Industrial Engineering* 37, 757–768.
- Romeyer, C., 2001. Système d'information fondé sur une traçabilité des activités: intérêt et difficultés de mise en oeuvre dans les hôpitaux (PhD Thesis). Aix Marseille 2.
- Roser, C., Nakano, M., Tanaka, M., 2005. Single Simulation Buffer Optimization. *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing* 48, 763–768.
- Rota-Franz, K., Thierry, C., Bel, G., 2001. Gestion des flux dans les chaînes logistiques. P. Burlat and J.-P. Campagne, *Performance Industrielle et Gestion Des Flux*. Paris: Lavoisier 153–86.
- Saadi, J., Bennani, T., Alla, H., 1997. Component hybrid dynamic nets, in: *IFAC/IFIP Conference on Management and Control of Production and Logistics*. pp. 211–216.
- Saenz de Ugarte, B., Hajji, A., Pellerin, R., Artiba, A., 2009. Development and Integration of a Reactive Real-time Decision Support System in the Aluminum Industry. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 22, 897–905.
- Sali, M., 2012. Exploitation de la demande prévisionnelle pour le pilotage des flux amont d'une chaîne logistique dédiée à la production de masse de produits fortement diversifiés 237.
- Samii, A.K., 2002. *Stratégies logistiques : Fondements, méthodes, applications*, 2e édition. ed. Dunod, Paris.
- Sarramia, D., 2002. *ASCI-mi: une méthodologie de modélisation multiple et incrémentielle* (PhD Thesis). Clermont-Ferrand 2.
- Savory, P.A., Williams, R.E., Rasmussen, R.R., 2001. Combining Activity-Based Costing with the Simulation of a Cellular Manufacturing System. *Journal of Design and Manufacturing Automation* 1, 221–229.
- Schulze, M., Seuring, S., Ewering, C., 2012. Applying activity-based costing in a supply chain environment. *International Journal of Production Economics, Green Manufacturing and Distribution in the Fashion and Apparel Industries* 135, 716–725.
- Seal, W., Cullen, J., Dunlop, A., Berry, T., Ahmed, M., 1999. Enacting a European supply chain: a case study on the role of management accounting. *Management Accounting Research* 10, 303–322.
- Sénéchal, O., Tahon, C., 1998. A methodology for integrating economic criteria in design and production management decisions. *International Journal of Production Economics, Production Economics: The Link Between Technology And Management* 56–57, 557–574.
- Seshasai, S., Gupta, A., Kumar, A., 2005. An Integrated and Collaborative Framework for Business Design: A Knowledge Engineering Approach. *Data Knowl. Eng.* 52, 157–179.
- Seuring, S., 2002. Supply Chain Costing — A Conceptual Framework, in: *Cost Management in Supply Chains*. Physica, Heidelberg, pp. 15–30.
- Shalliker, J. and Ricketts C. 2002. *An Introduction to SIMUL8, Release nine*. School of Mathematics and Statistics, University of Plymouth.
- Shannon, R.E., 1975. *Systems simulation: the art and science*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

- Shapiro, J.F., 2001. Modeling and IT Perspectives on Supply Chain Integration. *Information Systems Frontiers* 3, 455–464.
- Shapiro, R.D., Heskett, J.L., 1985. *Logistics strategy: cases and concepts*. West Pub. Co.
- Simchi-Levi D., Kamnisky P., Simchi-Levi E., 1999. *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Cases w/CD-ROM Package*, Book plus CD-Rom edition. ed. McGraw-Hill/Irwin, Boston.
- Spedding, T., Sun, G., 1999. Application of discrete event simulation to the activity based costing of manufacturing systems. *Faculty of Commerce - Papers (Archive)* 289–301.
- Stadtler, H., 2005. Supply chain management and advanced planning—basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research* 163, 575–588.
- Stevens, G.C., 1989. Integrating the Supply Chain. *Int Jnl of Phys Dist & Mat Mgt* 19, 3–8.
- Tako, A.A., Robinson, S., 2012. The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context.
- Tan, K., Kannan, V., Handfield, R., 1998. *Supply Chain Management: Supplier Performance and Firm Performance*. *International Journal of Purchasing & Materials Management*.
- Tchernev, N., 1997. *Modélisation du processus logistique dans les systèmes flexibles de production (PhD Thesis)*. Clermont Ferrand 2.
- Terzi, S., Cavalieri, S., 2004. Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in industry* 53, 3–16.
- Tham, K.D., 1999. *Representation and Reasoning About Costs Using Enterprise Models and ABC*. Unpublished Dissertation, University of Toronto, Toronto, Canada.
- Thomas, D.J., Griffin, P.M., 1996. Coordinated supply chain management. *European journal of operational research* 94, 1–15.
- Tixier, D., 1979. Les perspectives de la logistique d'entreprise. *Revue Française de Gestion* 19, 85–89.
- Tsai, W.-H., Chen, H.-C., Leu, J.-D., Chang, Y.-C., Lin, T.W., 2013. A product-mix decision model using green manufacturing technologies under activity-based costing. *Journal of Cleaner Production* 57, 178–187.
- Umeda, S., Zhang, F., 2008. Hybrid Modeling Approach for Supply-Chain Simulation, in: *Lean Business Systems and Beyond*, IFIP – The International Federation for Information Processing. Springer, Boston, MA, pp. 453–460.
- Vickery, S.K., Jayaram, J., Droge, C., Calantone, R., 2003. The effects of an integrative supply chain strategy on customer service and financial performance: An analysis of direct versus indirect relationships. *Journal of Operations Management* 21, 523–539.
- Voyer, P., 1999. *Tableaux de bord de gestion et indicateurs de performance — Presses de l'Université du Québec*.
- Wang, B., Brême, S., Moon, Y.B., 2014. Hybrid modeling and simulation for complementing Lifecycle Assessment. *Computers & Industrial Engineering* 69, 77–88.
- Wang, M., Wang, H., 2006. From process logic to business logic—A cognitive approach to business process management. *Information & Management* 43, 179–193.
- Wang, S., Guignard, M., 2006. Hybridizing discrete- and continuous-time models for batch sizing and scheduling problems. *Computers & Operations Research, Part Special Issue: Optimization Days 2003* 33, 971–993.
- Weske, M., 2012. *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*, 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Bibliographie

- Weske, M., van der Aalst, W.M.P., Verbeek, H.M.W., 2004. Advances in Business Process Management. *Data Knowl. Eng.* 50, 1–8.
- Weston Jr, F.C., Herrmann, F., Davidoff, P.H., 1999. Capacity Planning and Process Analysis A Simulation Study of a Microbrewery - Production and inventory management journal : journal of the American Production and Inventory Control Society, Washington, DC : Soc., ISSN 0897-8336, ZDB-ID 10542929. - Vol. 40.1999, 2, p. 48-52 40.
- Williams, R., Savory, P., Rasmussen, R., 1997. An Integrated Approach to Simulation and Activity-Based Costing for Evaluating Alternative Manufacturing Cell Designs. *Industrial and Management Systems Engineering Faculty Publications.*
- Wooldridge, M., Jennings, N.R., 1995. Intelligent agents: theory and practice. *The Knowledge Engineering Review* 10, 115–152.
- Wyland, B., Buxton, K., Fuqua, B., 2000. Simulating the supply chain, *IIE Solutions*, Vol.32, Issue 1, pp. 37 – 41.
- Yahya-Zadeh, M., 2011. Product-Mix Decisions Under Activity-Based Costing With Resource Constraints And Non-proportional Activity Costs. *Journal of Applied Business Research* 14, 39–45.
- Zairi, M., 1997. Business process management: a boundaryless approach to modern competitiveness. *Business Process Mgmt Journal* 3, 64–80.

Annexes

Annexe 1 – Axe Nord de OCP SA de l'extraction au port de Jorf.

1. Présentation du pôle mine

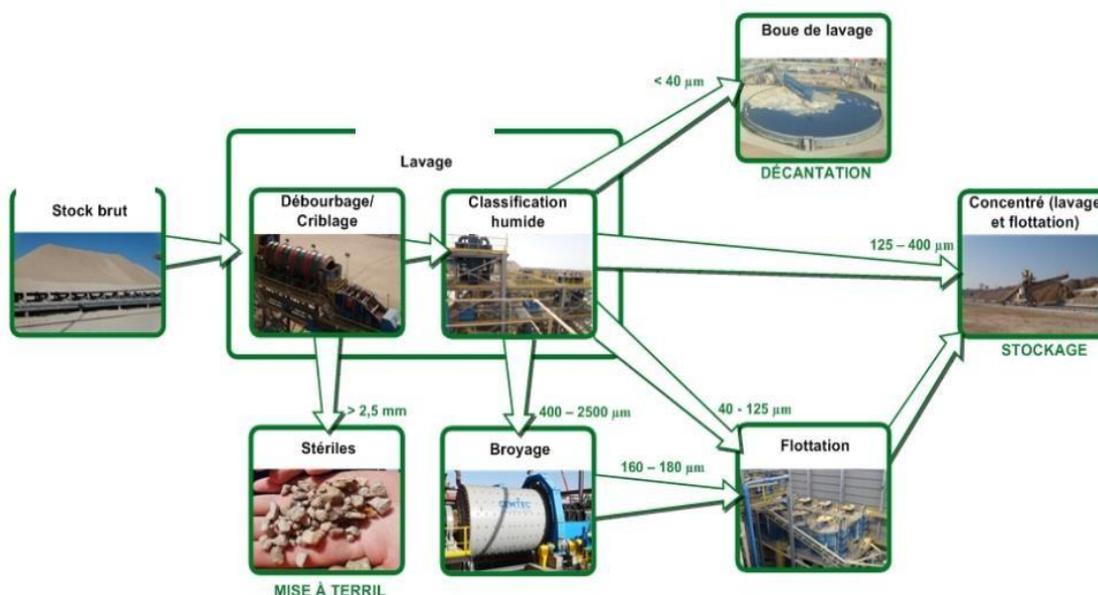
A 120 Km du sud-est de Casablanca, Khouribga constitue la plus importante zone de production de phosphate du groupe OCP.

Le site minier comporte trois zones d'extraction. Le gisement est de type sédimentaire et les réserves estimées à plus de XX milliards de m³. Les premiers coups de pioche ont été donnés en 1921 par la méthode souterraine. L'introduction de l'exploitation en « découverte » a débuté en 1951. La capacité de production s'élève à XX millions de tonnes par an.

Des roches brutes sont extraites par couche des différentes zones de Khouribga. Elles subissent un premier traitement, l'épierrage, puis sont stockées. On parle alors de qualités sources (QS) et elles sont principalement caractérisées par leur taux en phosphate (mesuré en taux BPL ou en taux P₂O₅) et leur taux en silice (Si). En fonction de sa teneur en BPL (Bon Phosphate of Lime), le minerai est classé en quatre catégories :

- Le phosphate haute teneur (HT) ;
- Le phosphate moyenne teneur (MT) ;
- Le phosphate basse teneur (BT) ;
- Le phosphate très basse teneur (TBT).

Les phosphates HT et MT ont des teneurs en BPL = 68% et sont considérés comme des produits marchands sans enrichissement. Par contre, les phosphates BT et TBT, doivent subir un enrichissement avant leur utilisation dans la fabrication des qualités marchandes.



L'extraction des phosphates passent par les stades opératoires suivants :

1.1. Foration

L'extraction des phosphates nécessite l'abattage à l'explosif de la roche constituant le recouvrement et les intercalaires ainsi que la couche 2 qui comporte des bancs de calcaire, et par conséquent la foration des trous de mine où sera logé de l'explosif. Cette opération, qu'on appelle communément foration, consiste en la confection des trous de mines, généralement verticaux, de diamètre de 9”.

1.2. Sautage

Le sautage est l'opération qui consiste à loger une quantité d'explosif dans les trous de foration dans le but de fragmenter le terrain pour faciliter son enlèvement par les machines d'excavation.

En effet, on s'attache à obtenir une fragmentation telle qu'on élimine, même dans les zones perturbées où les duretés varient, tout risque de voir le rendement des machines décroître et toute sollicitation anormale de leurs organes de puissance.

De ce fait, pour chaque niveau à miner et pour chaque machine on applique un dosage en explosif permettant d'obtenir la fragmentation recherchée.

1.3. Décapage

Le décapage est une opération qui consiste à enlever les morts terrains qui recouvrent le premier niveau phosphaté exploitable.

On distingue trois méthodes de décapage :

- Décapage par bulldozers, qui consiste à pousser le volume d'une tranchée de largeur déterminée.
- Décapage par dragline, qui consiste à caser les déblais des morts-terrains dans la tranchée déjà exploitée. Ce mode de décapage est pratiqué lorsque le recouvrement est important au point que les bulldozers ne peuvent le pousser.
- Décapage transporté consiste à décaper le primaire par une pelle de grande capacité et à transporter les déblais par des camions jusqu'aux décharges. Il n'est utilisé que dans les situations où le décapage par bulldozers ou par dragline ne peut s'appliquer (opération couteuse).

1.4. Défruitage

Le défruitage est l'opération qui consiste à enlever le phosphate, une fois l'enlèvement des intercalaires terminé, le charger et le transporter sur des camions jusqu'aux installations d'épierrage.

C'est une opération délicate car non seulement il faut récupérer le phosphate de façon convenable, mais aussi il faut sauvegarder la teneur in-situ du minerai.

1.5. Transport

Le transport du phosphate et du stérile se fait moyennant des camions de grande capacité de benne vers les trémies ou les décharges.

1.6. Traitement mécanique : Epierrage – Concassage - Criblage

C'est dans les installations fixes où le produit transporté par les camions subit les opérations de traitement. Ces opérations consistent en l'épierreage du phosphate, concassage du stérile retenu par l'épierreur et son acheminement vers la mise à terril, et criblage et mise en stock. Le stockage des phosphates au niveau des parcs humides se fait après une reconnaissance préalable de la qualité in-situ moyennant un prélèvement d'échantillons exécutée par bulldozer dans le niveau phosphaté. La qualité des phosphates stockés, par qualité source, est ensuite confirmée par une analyse chimique faite par la direction des traitements.

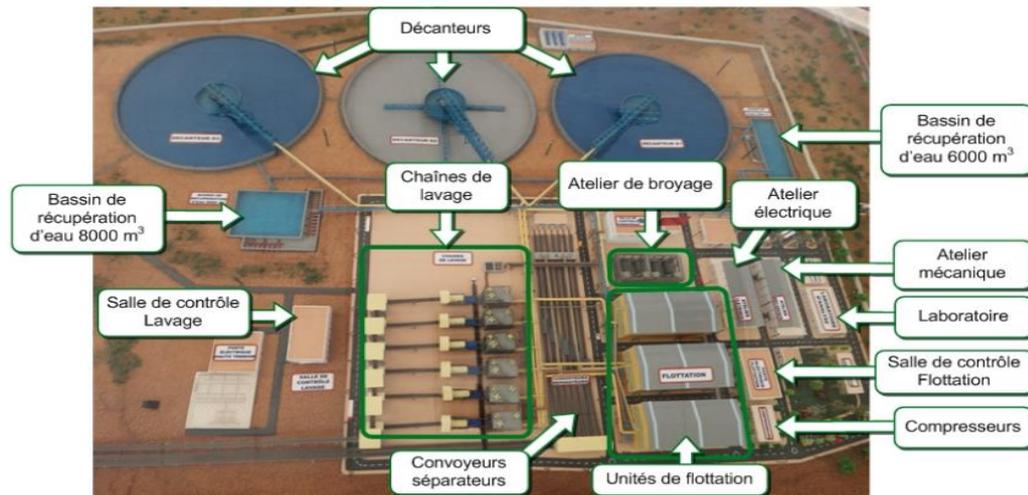
1.7. Moyens Humains

Le système de fonctionnement est assuré par 850 agents pendant 3 postes de 8 heures (en continu) pour une production journalière moyenne de XX tonnes.

La laverie MEA

Les qualités sources sont éventuellement traitées, après extraction, afin d'élever leur taux de phosphate et de contrôler le taux de silice : un phosphate plus riche en BPL est plus valorisé. La présence de silice en excès peut être problématique pour certaines utilisations, tandis que son manque peut rendre difficile la production de l'ACP (catalyseur de la réaction). A Khouribga, le traitement est effectué dans des laveries. Les laveries appliquent trois traitements possibles : un lavage simple (hydro-classification) (L), un lavage-flottation (LF) pour les niveaux phosphatés C2, ou un lavage-broyage-flottation (LBF) pour les niveaux phosphatés C3. A l'issue de cette phase de traitement, les roches traitées sont stockées. On parle alors de qualités bénéficiées (QB).

1. Le phosphate utilisé pour la transformation ou vendu brut est défini par sa qualité marchande (QM) : la roche est principalement définie par un intervalle de BPL et une teneur en silice garantis. Ces qualités marchandes sont souvent obtenues à partir de mélanges de qualités bénéficiées et/ou de qualités sources. Ce mélange a lieu pendant l'opération de séchage (qui consiste à baisser le taux d'humidité de la roche) ou lors du chargement du phosphate dans le train.
2. Les QM sont ensuite acheminées par train au port de Casablanca pour l'export ou vers le complexe de Jorf pour être transformées. Actuellement la mine de Khouribga alimente le complexe chimique de Jorf par la QM K09 et le port de Casablanca, pour l'export, par cinq QM (K02, K09, K10, K12 et K20). La laverie MEA est une usine de lavage du phosphate composée de 6 chaînes de lavage identiques de capacité unitaire de XX tonnes de produit brut d'alimentation par heure, avec une capacité de traitement de XX T/an, cette dernière est dotée de différents circuits :
 - Circuit de manutention et stockage de produit brut et lavé
 - Circuit de lavage – Flottation - Broyage
 - Circuit de mise à terril
 - Station de floculation
 - Décantation des boues de lavage et récupération d'eaux claires
 - Circuit de stockage et d'épandage de boues



Laverie MEA

1.8. Lavage

La laverie de MEA comprend six chaînes de lavage, deux ateliers de broyage et trois unités de flottation. Trois décanteurs classiques sont utilisés pour le traitement des produits évacués. En général le temps de traitement du phosphate brut est d'environ 30 minutes.

Les procédés du site MEA

1.8.1. Lavage

La chaîne de lavage comprend trois étapes majeures : le débourbage, le criblage et la classification humide. Les installations sont conçues pour pouvoir traiter jusqu'à XX tonnes/h de phosphates brut par chaîne de lavage.

Débourbage

Le phosphate brut est alimenté via des convoyeurs à un débourbeur. Le débourbage permet de malaxer les granules afin de libérer les grains phosphatés de la gangue indésirable. La pulpe est par la suite envoyée vers le crible.

Il y a X débourbeurs (capacité max : XX t/h) et le temps de séjour dans chaque débourbeur est 8 à 12 minutes.

Criblage de lavage

Le crible à la sortie du débourbeur permet de débarrasser la pulpe des entités dont la taille XX mm. Le reste de la pulpe est acheminé vers les batteries d'hydrocyclones classificateurs.

Il y a X cribles (capacité max : XX t/h) et le temps de séjour dans chaque crible est d'une minute.

Hydro-cyclonage

Trois batteries d'hydrocyclones assurent une classification humide de la pulpe.

La dernière batterie BH4 permet de séparer et d'évacuer les granules dont la taille est inférieure à XX.. Ces dernières constituent les boues de lavage et sont acheminées vers les décanteurs.

La pulpe sortant de la sousverse de la batterie BH4 est acheminée vers la flottation.

La capacité de chaque hydrocyclone classificateur est de XXt/h à XXt/h.

Moyens humains

La chaîne de lavage nécessite 9 opérateurs pendant 3 postes de 8 heures.

1.8.2. Flottation

Dans cette étape, la pulpe est séparée des impuretés et sa teneur en BPL est augmentée. Une unité de flottation comprend cinq étapes principales : le 1^{er} déschlammage, l'attrition, le 2^{ème} déschlammage, le conditionnement et la flottation.

1^{er} déschlammage

La pulpe reçue par la batterie de déschlammage) subit une meilleure élimination des particules fines ; les schlamms sont évacués dans la surverse des hydrocyclones vers les décanteurs. La sousverse qui contient les grosses particules est acheminée vers les cellules d'attrition.

Le temps de séjour lors d'1^{er} déschlammage est moins d'une minute.

Attritions

L'étape d'attrition se fait dans XX cellules d'attritions (capacité max XX t/h). Cette étape consiste à préparer les granules avant la flottation en libérant les impuretés de la surface des grains.

Le temps de séjour dans les cellules est de 8minutes.

2^{ème} déschlammage

Le 2^{ème} déschlammage se fait dans deux batteries d'hydrocyclones. Les schlamms sont à nouveau éliminés dans la surverse des hydrocyclones, et dirigés vers les décanteurs.

Le temps de séjour lors du 2^{ème} déschlammage est moins d'une minute.

Conditionnement

La sousverse des hydrocyclones est dirigée vers le conditionnement (capacité max XX/h) qui se fait dans six conditionneurs où des réactifs sont injectés. L'acide phosphorique qui déprime les phosphates est injecté au niveau du premier conditionneur. L'ester phosphorique qui capte les carbonates est injecté au niveau du 4^{ème} conditionneur. L'amine qui capte les silicates est injectée à l'entrée des cellules de flottation.

Flottation

La dernière étape est la flottation (capacité max : XX/h), elle consiste à augmenter la teneur en phosphate des fines naturelles issues du lavage.

Le temps de séjour est de x minutes.

Moyens humains

Chaque atelier de flottation nécessite minimum 4 opérateurs et un encadrant pour un poste de 8 heures (il y a 3 postes de 8 heures).

1.8.3. Broyage

C'est une étape intermédiaire entre le lavage et la flottation pour le minerai C3, et consiste à réduire la taille des particules ; les granules peuvent donc être acheminées pour traitement dans les unités de flottation.

Broyeur

Le broyage repose sur le principe de choc entre les boulets et les granules de la pulpe. La sous verse des batteries BH11 des deux lignes de broyage est acheminée vers les unités de flottation, la surverse est alimentée à la décantation.

Moyens humains

Chaque atelier de broyage nécessite minimum 3 opérateurs et un encadrant pour un poste de 8 heures (il y a 3 postes de 8 heures).

1.8.4. Décantation

La décantation traite les boues afin de séparer les rejets issus du traitement de phosphate pour créer deux phases : de l'eau clarifiée et de la pulpe épaissie. La pulpe épaissie est évacuée vers des digues d'épandage tandis que les eaux claires sont recyclées.

En attendant le démarrage du pipeline, le concentré de flottation est récupéré à la sortie pour être entreposé dans le stock lavé après épaississement avec le concentré de lavage.

Moyens Humains

Au niveau de la décantation, il y a un opérateur qui contrôle le décanteur, un opérateur qui contrôle la digue et un encadrant. Il y a aussi une équipe de nettoyage et de préparation de réactifs et trois opérateurs qui assurent le fonctionnement des convoyeurs séparateurs. Le nombre d'opérateurs va augmenter après l'adaptation de la laverie (envoi avec pipeline)

2. Pipeline

2.1. Objectif

L'objectif principal du slurry pipeline est d'assurer le transport de toute la production de la mine de Khouribga (capacité de XXMT/an au début) vers Jorf Lasfar sous forme de pulpe et de garantir une exploitation continue avec un coût inférieur à XX\$/T. A terme, l'ensemble du flux de Khouribga sera acheminé vers Jorf à l'aide du slurry pipeline et le train sera abandonné. Cependant, une phase transitoire de plusieurs semestres est inévitable (prévue depuis fin 2013 jusqu'au début 2017): pendant cette période, l'ancienne Supply Chain sera encore en activité à un rythme décroissant alors que la nouvelle Supply Chain slurry assurera la croissance de la production. Le train continuera à assurer la production du phosphate exporté alors que le pipeline alimentera les complexes chimiques. Pendant cette phase transitoire, une seule qualité de phosphate(K09) sera transportée par le pipeline. Au-delà de cette phase, les qualités qui seront transportées par le pipeline sont : K(02), K(09), K(10), K(12) et K(20).

2.2. Les principaux éléments du pipeline

Les principaux éléments du pipeline sont :

Annexes

- bacs laveries de capacités XX m3 chacun (présents aux laveries Daoui et El Halassa (en construction), mais non à la laverie MEA).
- Pipelines secondaires : 4 installations de longueurs variables (49km au total) puis 5 dans un second temps, ils permettent d'acheminer la pulpe des laveries ou des bacs laveries vers la station de tête.
- Bacs de la station de tête (HS) : au nombre de 4 (à terme 6). La HS est le point de rencontre des flux des laveries.
- Pipeline principal de 187 km, il transporte la pulpe de Khouribga à Jorf.
- Bacs de la station terminale (TS) : au nombre de 8 (à terme 10). Ils servent de tampons entre le pipeline principal et l'aval (downstream et chimie).
- Downstream : système de filtration et séchage de la pulpe pour la roche destinée à l'export, il peut également alimenter la chimie si les volumes présents à la TS sont insuffisants (la roche filtrée est à nouveau mélangée à de l'eau pour redonner de la pulpe, on parle alors d'opération de repulpage)
- Lignes d'alimentation chimie et bacs phosphoriques : ils permettent de connecter la TS à la chimie

Les pipelines (principal et secondaires) ont les contraintes suivantes :

- Ils ne doivent pas être à l'arrêt plus de 24 heures
- Des bouchons d'eau doivent séparer les QM transportées
- Le pipeline ne fonctionne pas 24/24h (des temps d'arrêts sont programmés chaque jour en fonction du besoin en aval)
- Afin de simplifier sa gestion, le temps d'ouverture du pipeline sera continu (une seule ouverture et fermeture par jour)
- Deux QM seront produites au plus par jour dans le pipeline dont le K09 lorsque plusieurs qualités seront transportées par le pipeline. Il est cependant idéal de ne produire qu'une seule qualité.

Avec le nouveau mode de transport, de nombreux changements concernant les principes de fabrication des QM seront pris en considération :

- L'absence de stock de QB implique que la fabrication doit être faite en continue
- Toutes les roches qui vont transiter par le pipeline, doivent être lavées (un mélange ne pourra donc se faire qu'à partir de QB et non plus d'un mélange de QB et QS)
- L'opération de séchage se fera après le transport (pour l'export) et non plus avant
- Une unique QS et un unique traitement sont prévus par laverie et par jour.

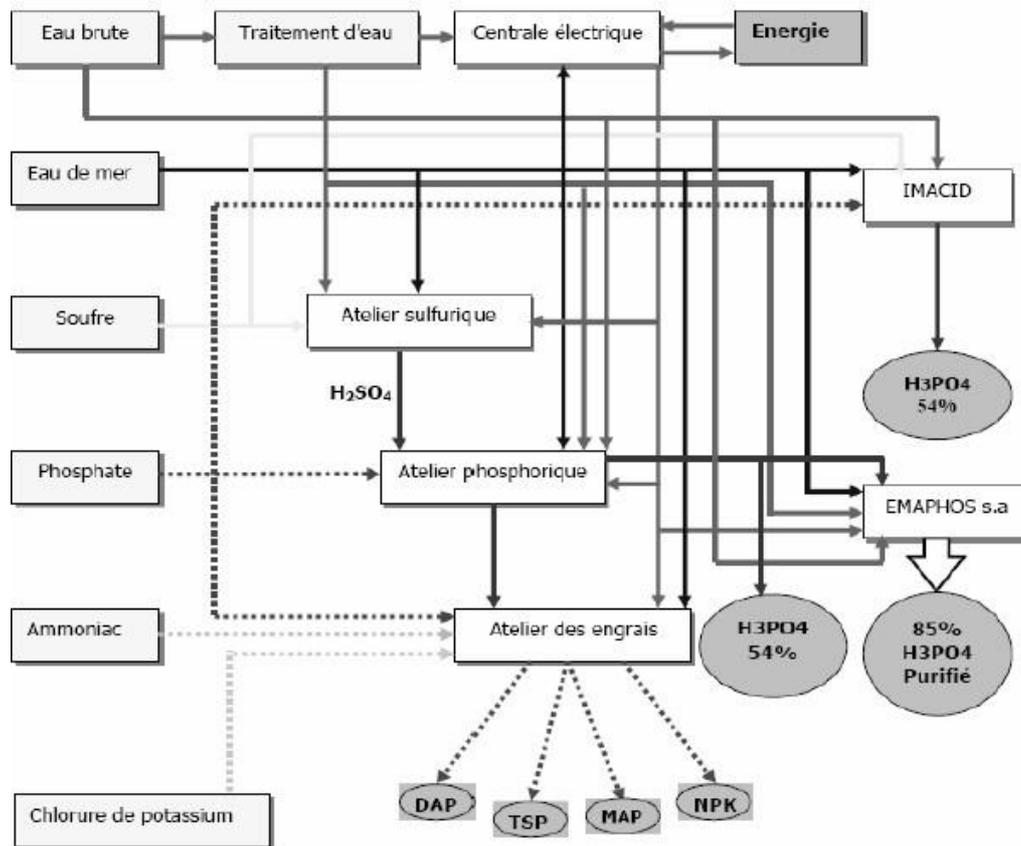
3. Présentation de la plateforme chimique de JORF

La plate-forme de Jorf Lasfar est considérée parmi les blocs géants au sein du Groupe OCP SA. Elle se compose principalement des sites suivants :

- Maroc Phosphore III et IV ;
- EMAPHOS ;
- IMACID ;
- PAK-PHOS ;
- BUNGUE.

Annexes

Les différentes interactions sont illustrées dans les schémas suivants pour une entité du complexe chimique. Le détail de leur fonctionnement est donné dans le chapitre 4.



4. Le port

Le port est la fenêtre du pôle sur le monde, il utilise la plupart des quais pour ses différentes opérations. L'office importe le soufre et l'ammoniac et exporte le phosphate, l'acide phosphorique concentré et purifié et les engrais de différentes qualités.

Le port contient entre autres :

- Deux hangars de stockage de soufre solide ;
- Une unité de fusion filtration de soufre ;
- Trois Bacs de stockage de soufre liquide ;
- Un bac de stockage d'acide sulfurique ;
- Deux bacs atmosphériques de stockage d'ammoniac ;
- Une station de filtration et de pompage d'eau de mer ;
- Une station d'ensachage des engrais destinés à l'exportation.

En ce qui concerne les superstructures portuaires, elles peuvent être divisées en deux parties: des structures destinées pour le déchargement et d'autres destinées pour le chargement.

- Déchargement :
 - Deux portiques pour les importations en soufre solide ;
 - Un bras de déchargement pour les importations en soufre liquide ;
 - Un bras de déchargement pour les importations en ammoniac ;

Annexes

- Un bras de déchargement pour les importations en acide sulfurique.
- Chargement :
 - Deux portiques pour les exportations du phosphate ;
 - Quatre portiques pour les exportations des engrais en vrac ;
 - Deux portiques pour les exportations des engrais en sac ;
 - Deux bras de chargement pour les exportations de l'acide phosphorique marchand ;
 - Un bras de chargement dédié aux exportations d'acide phosphorique purifié.

5. Unité de stockage

C'est une grande installation située entre le port et l'usine centrale nommée Unité 51&53. L'unité 51 est destinée pour le stockage du soufre, tandis que l'unité 53 sert au stockage d'acides et au stockage d'engrais (XX hangars) et au stockage du phosphate (XX hangars).

Annexe 2 – Modélisation de la CL par les automates à états finis et les automates hybrides

Selon [Bartélemy, 2012], les automates à états finis offrent un formalisme de description peu puissant mais avec beaucoup d'algorithmes efficaces. Ils sont très utilisés notamment dans deux domaines : le traitement de chaînes de caractères et la description de comportement dynamique de systèmes.

[Henzinger, 1996] définissent un système hybride comme un système dynamique avec les deux composantes discrètes et continues. Par exemple, un moteur d'automobile, dont l'injection combustible (continu) est régulée par un microprocesseur (discret) est un système hybride. Comme l'informatique embarquée devient omniprésent, les systèmes hybrides sont de plus en plus utilisés dans des applications critiques pour la sécurité, rendant ainsi la fiabilité une préoccupation majeure qui nécessite une modélisation formelle. A cet effet, l'automate hybride a été proposé comme un modèle formel de systèmes hybrides.

Les automates à états finis sont des modèles utiles pour de nombreux types de matériels et de logiciels. Un automate à états finis est composé d'un ensemble d'états, le contrôle se fait d'un état à un autre en réponse à des entrées externes. L'une des distinctions cruciales entre les classes d'automates finis est de savoir si ce contrôle est déterministe, ce qui signifie que l'automate ne peut pas être à plus d'un état à un moment donné ou non déterministe, ce qui signifie qu'il peut être dans plusieurs états à la fois [Hopcroft et al, 2006].

Selon [Buntins et al, 2013], les automates hybrides ont été développés comme un formalisme pour modéliser des systèmes où la logique de commande discrète interagit avec une réalité de valeur réelle et facilite les preuves mathématiques en ce qui concerne leurs propriétés comportementales.

Les automates hybrides sont classiquement utilisés pour la modélisation de systèmes embarqués et de leurs logiciels dans différents domaines de l'ingénierie technique. L'accent est mis sur la fiabilité de ces systèmes et donc sur la vérification formelle de propriétés. De plus, les automates hybrides offrent une notation visuelle agréable accessible avec seulement un minimum de formation formelle. Un automate hybride est un système composé d'une partie discrète, et une partie à valeur réelle et continue. Formellement, un automate hybride est un automate fini étendu avec un ensemble de variables à valeurs réelles et avec diverses possibilités de modifier et tester ces variables.

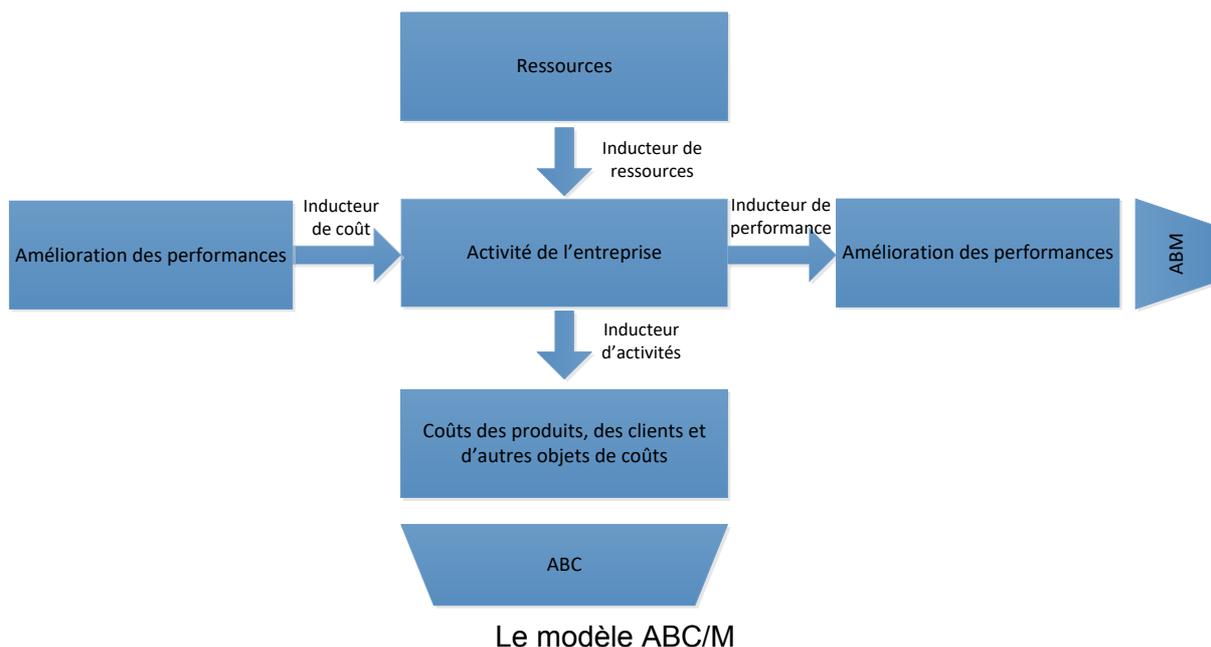
Annexe 3 – Complément sur la méthode ABC

La méthode ABC cherche à mettre en évidence les relations entre ressources, activités et produits ce qui aide l'entreprise à trouver les activités à l'origine de la consommation des ressources et la consommation des activités par les produits. Cette méthode permet d'identifier les ressources absorbées par chaque activité indirecte.

Elle considère que toutes les activités sont principales pour la détermination des coûts des produits. Elle est pertinente pour la réduction des coûts parce qu'elle analyse plus précisément le processus au niveau des activités, elle aide aussi à la prise de décision. Cette méthode nécessite une forte implication du personnel.

Dans la méthode ABC, il faut distinguer entre :

- 1) La tâche qui est le premier niveau de détail
- 2) L'activité qui est définie comme un ensemble de tâches homogènes caractéristiques d'un processus de réalisation de la chaîne de valeur et consommateur de ressources. [Bescos et Mendoza, 1994].
- 3) Le processus qui est une suite d'activités représentant le cycle de fabrication d'un produit.
- 4) Les inducteurs de coût qui reflètent la consommation des coûts par cette activité (inducteur => consommation des ressources par activité)



Le calcul des coûts par la méthode ABC se fait sur six phases :

- 1) Le découpage de l'entreprise en activités (l'activité décrit ce que l'entreprise fait) => découpage plus fin qui permet de faire apparaître parfois des coûts d'activités coûteuses.
- 2) Identifier les charges indirectes
- 3) Faire le lien entre les charges indirectes et les activités
- 4) Déterminer les inducteurs de coûts pour chaque activité (faire le lien entre les activités et les produits).
- 5) Regrouper les activités ayant le même inducteur dans le centre de regroupement

- 6) Le coût d'un produit est obtenu en accumulant les charges directes et celles en provenance des centres de regroupement

La méthode ABC propose une modélisation de l'entreprise qui repose sur les deux principes suivants :

- les activités consomment les ressources de l'organisation
- les objets de coûts consomment les activités

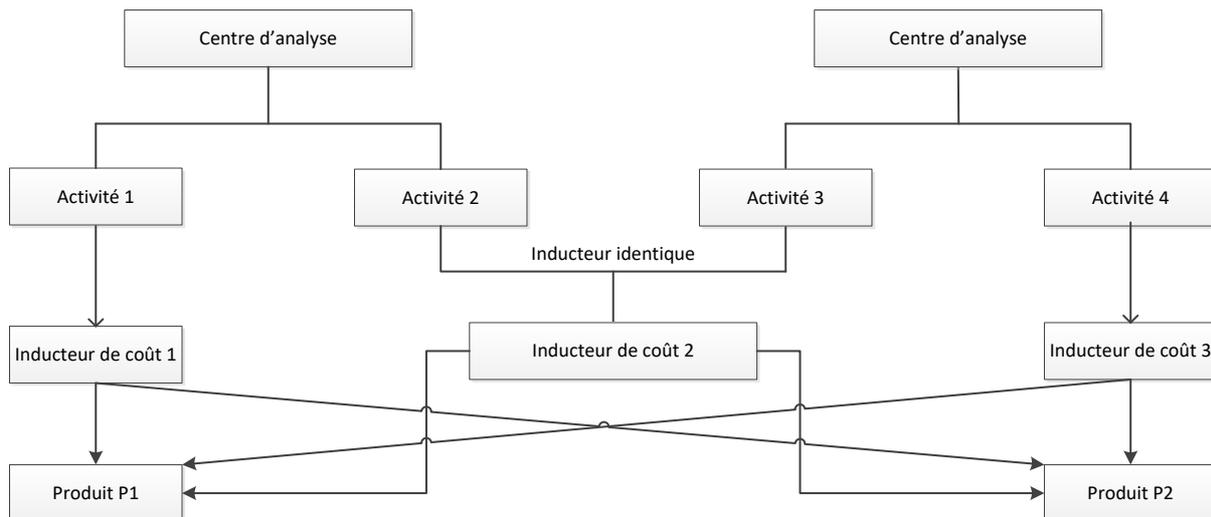
La première étape de la modélisation en ABC d'une entreprise consiste en l'identification et la construction des différentes activités effectuées qui vont permettre la représentation comptable de l'organisation. Pour chaque activité, il est nécessaire de rassembler un ensemble d'informations qui vont permettre, d'une part, la gestion des activités et, d'autre part, le calcul du coût des objets de coût. Elles portent sur les éléments suivants :

- l'appartenance à l'entité organisationnelle où différents modes d'articulation sont possibles
- le processus dont fait partie l'activité
- le résultat de l'activité qui peut être de nature physique ou informationnelle, le bénéficiaire ou client de l'activité qui peut être interne ou externe à l'entreprise et le ou les fournisseurs de l'activité
- Les ressources consommées par l'activité : les charges vont être attribuées aux activités en fonction de leur consommation respective des ressources
- Les inducteurs de coût et d'activité qui permettent une compréhension de ce qui déclenche l'activité et qui vont permettre une gestion de l'activité
- L'unité d'œuvre de l'activité qui, comme dans le système précédent, est une unité de mesure de l'activité qui va permettre l'allocation du coût de l'activité entre les objets de coût qui l'ont consommée et dont la qualité dépend de la corrélation statistique entre les variations du coût total de l'activité et du nombre total d'unités d'œuvre
- La capacité disponible de l'activité, le plus souvent mesurée par le nombre total d'unités d'œuvre que les ressources existantes consacrées à l'activité permettent de réaliser
- Un ensemble de mesures de performance qui portent sur le coût, la qualité et le respect des délais dans la réalisation de l'activité

Dans la comptabilité par activités, on répartit les charges de la comptabilité générale entre :

- Les charges directes à l'objet de coût que l'on veut mesurer
- Les charges indirectes à l'objet de coût que l'on peut tracer sans ambiguïté à une activité
- Les charges qui ne peuvent pas être tracées à une activité en particulier et qui sont partagées par différentes activités.

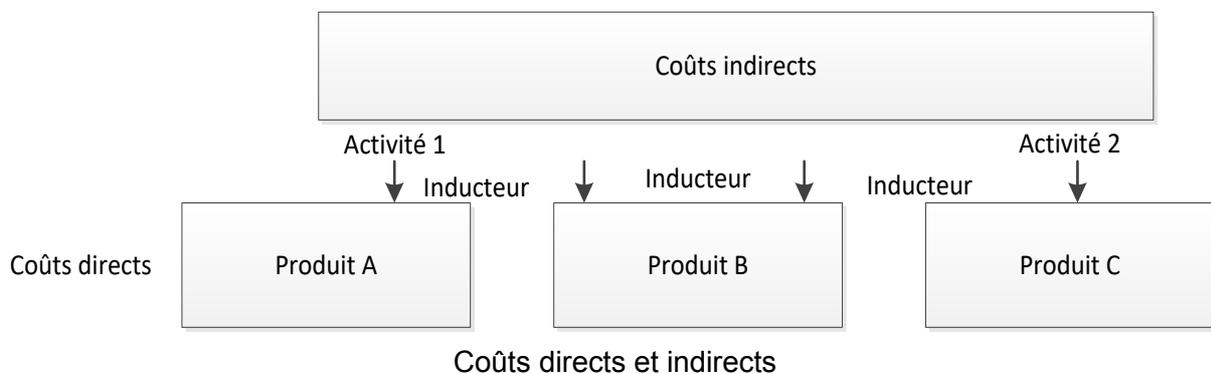
Annexes



Les étapes de calcul de coût par la méthode ABC

L'analyse des activités conduit à identifier un nombre très important d'activités et la constitution d'une entité comptable par activité conduirait à une représentation comptable trop complexe. Le plus souvent, on retiendra un nombre d'entités comptables inférieur au nombre d'activités. Le regroupement des activités en centres de regroupement comptable peut se faire selon trois modalités :

- Regroupement des activités qui partagent la même unité d'œuvre, ce qui diminue les risques d'allocation incorrecte des coûts aux objets de coût. Ce mode de regroupement est pertinent si le recours à la méthode ABC a pour objectif essentiel la recherche d'une plus grande précision dans le calcul du coût des objets de coût, mais peut poser un problème d'articulation avec la structuration des responsabilités de l'organisation
- Regroupement des activités qui appartiennent au même processus. Cette méthode permet de produire l'information nécessaire à une gestion du processus, mais nécessite une homogénéité dans la consommation des ressources par les activités qui constituent le processus, si on veut maintenir une précision suffisante dans le calcul des coûts.
- Regroupement des activités qui partagent la même structure d'inducteurs de coût et d'activités.



La dernière étape de calcul de coûts est l'allocation du coût des centres de regroupement comptable aux objets de coût, en utilisant des unités d'œuvres appropriées qui traduisent

Annexes

correctement le comportement aux objets de coût, en utilisant des unités d'œuvre appropriées qui traduisent correctement le comportement des coûts des activités.

La modélisation des coûts est utilisée pour consolider les décisions lorsque l'objectif est de rester compétitif au niveau des prix et être en mesure de réaliser des sorties à faible coût. De nombreux chercheurs ont proposé et expérimenté différentes techniques de modélisation des coûts en vue d'influencer les décisions de conception et de production à un stade précoce du processus de développement.

Annexe 4 : Cohérence temporelle et spatiale pour les tableaux de bord (adapté de Giard, 2003)

Le problème de la cohérence temporelle se pose dès lors que les acteurs d'un même centre de décision utilisent des tableaux de bord établis sur des horizons et fréquences différents (par exemple, tableau de bord de pilotage établi quotidiennement et tableau de gestion établi mensuellement). Que les acteurs concernés soient ou non les mêmes, l'utilisation de tels indicateurs posent deux types de problèmes.

- En premier lieu, les indicateurs utilisés entretiennent souvent des relations non triviales, même si la formule utilisée est la même. Par exemple, prenons le cas d'un indicateur calculé comme le quotient de deux flux mesurés sur une même période et affectés d'un certain aléa (demande satisfaite sur demande exprimée, par exemple). Un tel indicateur calculé quotidiennement n'est pas comparable directement avec le même indicateur calculé hebdomadairement non seulement parce que sa variabilité relative est plus faible mais aussi et surtout parce qu'il n'existe pas de relation claire liant l'indicateur hebdomadaire aux indicateurs quotidiens.
- Le second type de problème est lié au fait que les tableaux de bord sont largement conçus pour induire des comportements et que rien ne garantit a priori la cohérence des comportements des acteurs utilisant les indicateurs de tableaux de bord différents. Une réflexion sur les pistes de résolution du premier de ces deux problèmes peut être abordée en s'appuyant sur la simulation et l'appel aux techniques statistiques.

Les problèmes de cohérence spatiale sont de deux types :

- L'élaboration du même indicateur sur un ensemble de centres de décision que dans chacun d'entre eux, pour obtenir un point de vue synthétique pose des problèmes tout à fait similaires à ceux qui viennent d'être évoqués dans l'agrégation temporelle si ces centres sont indépendants et plus complexes dans le cas contraire.
- Dans la mesure où les indicateurs d'un tableau de bord induisent des comportements, ces indicateurs interviennent dans les mécanismes de coordination entre les centres de décision interdépendants. Il est bien évident que la cohérence de ce pilotage n'est pas garantie. Si les centres de décision sont relativement indépendants, l'usage de la simulation peut être envisagé dans le premier des deux cas. Il ne faut pas se cacher que les difficultés deviennent extrêmes lorsque les centres de décisions sont interdépendants, fondamentalement en raison de la très grande difficulté à modéliser correctement cette interdépendance (principalement au niveau comportemental).

Annexe 5 - Détail de la formalisation d'un modèle générique pour l'évaluation de la création de valeur financière du processus logistique.

Le modèle que nous utilisons est adapté de (Fenies, 2006, publié dans (Comelli et al., 2008). Nous l'adaptions dans cette annexe au contexte de la CLH. La dimension Cash Flow de la modélisation utilisée n'est pas activée dans le contexte de notre recherche. Ce modèle est défini par :

- un ensemble I d'items,
- un ensemble J de business units de la CLH (entrepôt, usine, ...),
- un ensemble K de périodes,
- un ensemble Z de ressources,
- un ensemble B de processus logistiques,
- un ensemble Q de scenarii.

L'évaluation devra associer l'ensemble I de produits, l'ensemble J des business units de la CLH et l'ensemble K de périodes avec les éléments donnés par l'ensemble Q de scenarii de production et les ERP des BU de la CLH.

Nous définissons, dans un premier temps, les indices, les paramètres et les variables.

Ensembles et Indices

I = ensemble des éléments clients (produit, service), i est un élément client, $i \in I$;

J = ensemble des business units où j est une business unit, $j \in J$;

T = ensemble des périodes où t est une période, $t \in T$;

Q = ensemble des plannings où q est un nombre de scenarii, $q \in Q$;

Z = ensemble des ressources où z est une de ressources, $z \in Z$;

B = ensemble des activités logistiques où b est 1 activité, $b \in B$.

Paramètres

- Paramètres fourni par un modèle d'action du flux physique sur une période t pour un scenario q

$QF_{i,j,t,q}$	Quantité d'éléments clients i produits par la business unit j
$QV_{i,j,t,q}$	Quantité d'éléments clients i vendus par la business unit j
$QSI_{i,j,t,q}$	Quantité d'éléments clients i en stock initial dans la business unit j
$QSF_{i,j,t,q}$	Quantité d'éléments clients i en stock final dans la business unit j
$r_{i,j,t,z,q}$	Quantité de ressources z consommées par l'élément client i dans la business unit j
$a_{j,t,z,b,q}$	Quantité de ressources z consommées par le processus b dans la business unit j
$h_{i,j,t,b,q}$	Quantité d'inducteur de coûts de l'activité b consommées par l'élément client i dans la business unit j

Annexes

$D_{i,j,t,q}$ Demande satisfaite pour l'élément client i dans la business unit j

- Paramètres fournis par le Système d'information des différentes Business Unit pour un scenario q durant une période k

$P_{i,j,t,q}$ Prix du marché ou de transferts d'élément client i vendu par la business unit j

$c_{j,t,z,q}$ Coût unitaire d'une ressource z dans la business unit j

$cd_{j,t,b,q}$ Coût unitaire de l'inducteur de coûts du processus b dans une business unit j

$de_{j,t,z,q}$ Délai de paiement pour la ressource z achetée par la business unit j

$dp_{i,j,t,q}$ Délai de paiement pour l'élément client i vendu par la business unit j

Variables

- Variables de décisions pour un planning q durant une période k

$M_{i,j,t,q}$ Marge ABC produite par un élément client i dans une business unit j

$CF_{j,t,q}$ Cash flow généré dans une business unit j

$PCV_{i,j,t,q}$ Potentiel de Marge ABC pour un produit/service i dans une business unit j

- Variables auxiliaires pour un scenario q durant une période k

$R_{j,t,z,q}$ Coût de consommation de ressources z dans une business unit j

$DC_{i,j,t,q}$ Coût direct global des éléments client i dans une business unit j

$dc_{i,j,t,q}$ Coût direct unitaire d'un élément client i pour une business unit j

$Cabc_{i,j,t,q}$ Coût du processus logistique pour un élément client i dans une business unit j

$CA_{i,j,t,q}$ Chiffre d'affaire de l'élément i dans la business unit j

Prix de revient d'un élément i dans la business unit j

$CRPF_{i,j,t,q}$ Coût de l'ensemble des éléments client i dans la business unit j

$CRPV_{i,j,t,q}$ Coût de l'ensemble des éléments i vendus dans une business unit j

$SI_{i,j,t,q}$ Valeur du stock initial des éléments clients i d'une business unit j si l'élément client i est stockable

$SF_{i,j,t,q}$ Valeur du stock final d'élément client i d'une business unit j si l'élément client i est stockable

$E_{j,t,q}$ Ressources globales payées par une business unit j

$Rp_{j,t,z,q}$ Ressource z payé par une business unit j

$PP_{j,t,q}$ Chiffre d'affaire réalisée par une business unit j

Annexes

$Pp_{i,j,t,q}$	Chiffre d'affaire réalisé par l'ensemble des éléments clients i par une business unit j
$CP_{j,t,q}$	Niveau de trésorerie de la business unit j

Pour évaluer un scenario q , nous proposons la fonction suivante $F(q)$:

$$\alpha \in R^+, \beta \in R^+, \varphi \in R^+$$

$\forall q \in Q$:

$$(1) \quad F(q) = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} \left[\beta \times CF_{j,t,q} + \sum_{i \in I} (\alpha \times M_{i,j,t,q} + \gamma \times PCV_{i,j,t,q}) \right]$$

Évaluation globale de la CLH

$\forall (i, j, t, q) \in I \times J \times T \times Q$:

$$(2) \quad M_{i,j,t,q} = CA_{i,j,t,q} - CRPV_{i,j,t,q}$$

Marge ABC produite par un élément client i dans une business unit j

$$(3) \quad CA_{i,j,t,q} = QV_{i,j,t,q} \times P_{i,j,t,q}$$

Chiffre d'affaire de l'élément i dans la business unit j

$$(4) \quad CRPV_{i,j,t,q} = QV_{i,j,t,q} \times \left(\frac{SI_{i,j,t,q} + CRPF_{i,j,t,q}}{QSI_{i,j,t,q} + QF_{i,j,t,q}} \right)$$

Coût de l'ensemble des éléments i vendus par une business unit j

$$(5) \quad SI_{i,j,t,q} = dc_{i,j,t-1,q} \times QSI_{i,j,t,q}$$

Valeur du stock initial des éléments clients i d'une business unit j si l'élément client i est stockable

$$(6) \quad dc_{i,j,t,q} = \frac{DC_{i,j,t,q}}{QF_{i,j,t,q}}$$

Coût direct unitaire d'un élément client i pour une business unit j

$$(7) \quad DC_{i,j,t,q} = \sum_{z \in Z} (r_{i,j,t,z,q} \times c_{j,t,z,q})$$

Coût direct global des éléments client i dans une business unit j

(8) $CRPF_{i,j,t,q} = DC_{i,j,t,q} + Cabc_{i,j,t,q}$

Coût de l'ensemble des éléments client i dans la business unit j

(9) $Cabc_{i,j,t,q} = \sum_{b \in B} (h_{i,j,t,b,q} \times cd_{j,t,b,q})$

Coût du processus logistique pour un élément client i dans une business unit j

(10) $PCV_{i,j,t,q} = (P_{i,j,t,q} - dc_{i,j,t,q}) \times (DC_{i,j,t,q} - QV_{i,j,t,q})$

Potentiel de marge ABC

$\forall (j, t, q) \in J \times T \times Q :$

(11) $CF_{j,t,q} = PP_{j,t,q} - E_{j,t,q}$

Cash flow

(12) $PP_{j,t,q} = \sum_{i \in I} Pp_{i,j,t,q} ,$

Evaluation des chiffres d'affaires des entités

$\forall (i, j, t, q) \in I \times J \times T \times Q :$

(13) $Pp_{i,j,t,q} = CA_{i,j,t-h,q}$ avec $h = dp_{i,j,t,q} ,$

Evaluation des sommes collectées par entité

$\forall (j, t, q) \in J \times T \times Q :$

(14) $E_{j,t,q} = \sum_{z \in Z} Rp_{j,t,z,q}$

Evaluation du paiement global de chaque entité

$\forall (j, t, z, q) \in J \times T \times Z \times Q :$

(15) $Rp_{j,t,z,q} = R_{j,t-g,z,q}$ avec $g = de_{j,t,z,q} ,$

Evaluation du paiement de ressources dans une entité de la CLH

$$\forall (j, t, z, q) \in J \times T \times Z \times Q :$$

$$(16) \quad R_{j,t,z,q} = c_{j,t,z,q} \times \left(\sum_{i \in I} r_{i,j,t,z,q} + \sum_{b \in B} a_{j,t,b,z,q} \right)$$

Evaluation de la consommation de ressources

Les équations (2) à (9) présentent la marge ABC à partir d'un scenario. Notons que l'évaluation des stocks est prise en compte dans l'évaluation globale grâce aux équations (4) à (8). En prenant en compte les équations (2) à (9), l'évaluation de la création de valeur peut être formalisée à partir des éléments donnés par un modèle d'action du flux physique (pour une business unit de la chaîne comme pour la chaîne elle même). L'équation 17 présente la marge ABC sur l'ensemble de la CLH. Nous n'avons mis en œuvre que les équations (2) à (9) dans le cadre de notre recherche.

$$\forall (t, q) \in T \times Q :$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} M_{i,j,t,q} = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} (QV_{i,j,t,q} \times P_{i,j,t,q}) - \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \left\{ QV_{i,j,t,q} \times \left[\frac{dc_{i,j,t-1,q} \times QSI_{i,j,t,q} + \sum_{z \in Z} (r_{i,j,t,z,q} \times c_{j,t,z,q}) + \sum_{b \in B} (h_{i,j,t,b,q} \times cd_{j,t,b,q})}{QSI_{i,j,t,q} + QF_{i,j,t,q}} \right] \right\}$$

(17) Marge ABC dans la Supply Chain

Les équations (11) à (16) permettent aux managers d'évaluer les niveaux des flux financiers dans une CLH. Les équations (14) et (15) présentent le lien entre le modèle ABC et l'évaluation des flux financiers à partir des consommations de ressources et des délais de paiements. Les équations (2) à (16) permettent notamment de présenter la formalisation suivante de l'évaluation des flux financiers pour la CLH dans l'équation (18).

$$\forall (t, q) \in T \times Q$$

$$\sum_{j \in J} CF_{j,t,q} = \sum_{j \in J} \left\{ \sum_{i \in I} (QV_{i,j,t-h,q} \times P_{i,j,t-h,q}) - \sum_{z \in Z} \left[c_{j,t-g,z,q} \times \left(\sum_{i \in I} r_{i,j,t-g,z,q} + \sum_{b \in B} a_{j,t-g,b,z,q} \right) \right] \right\}$$

(18) Evaluation des flux financiers

L'équation 19 permet de décider parmi les scenarii qui possèdent la même marge ABC et les mêmes niveaux de flux financiers. Les scenarii seront départagés par la fonction d'évaluation : le planning qui possède la plus haute valeur sera choisi.

Annexes

$$\forall (t, q) \in T \times Q$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} PCV_{i,j,t,q} = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \left\{ \left[P_{i,j,t,q} - \frac{\sum_{z \in Z} (r_{i,j,t,z,q} \times c_{j,t,z,q})}{QF_{i,j,t,q}} \right] \times \left[\sum_{z \in Z} (r_{i,j,t,z,q} \times c_{j,t,z,q}) - QV_{i,j,t,q} \right] \right\}$$

(19) Evaluation du potentiel de Marge ABC

Annexe 6 – Extraction d’informations produites par l’ABS de Maroc Phosphore

Coût	07D					Coût	107A				
	Processeur	Ressources	Coûts (DHS /T)	Ratio	Prix		Processeur	Ressources	Coûts (DHS /T)	Ratio	Prix
		matières auxiliaires	0,00		0,00			0,00		0,00	
		H2SO4	1138,58	0,08	91,60			2277,17	0,08	183,31	
		ACP 29	11219,17	0,32	3590,13			22438,33	0,60	13463,00	
		ACP 54 CL	11407,96		0,00			22815,91		0,00	
	PN	ACP 54 NCL	11407,96	0,53	6035,96			22815,91	0,15	3520,17	
		KCL	5009,68		0,00		PN	KCL	10019,36	0,00	
		Phosphate	2030,38		0,00			Phosphate	4060,77	0,00	
		Ammoniac	6527,50	0,11	699,37			Ammoniac	13055,00	0,11	1398,75
		Inducteur energie	1024,55	0,01	7,34			Inducteur energie	2049,10	0,01	19,27
		Vapeur	36,56		0,00			Vapeur	73,12	0,00	
		Eau brute	8,36	0,04	0,36			Eau brute	16,72	0,04	0,72
		Ammoniac	6527,50	0,03	195,83			Ammoniac	13055,00	0,03	391,65
	Granulation	Inducteur energie	1024,54	0,01	5,51		Granulation	Inducteur energie	1024,55	0,01	7,23
		ACP 54 NCL	11407,96		0,00			ACP 54 NCL	22815,91		0,00
		Séchage	1024,55	0,01	5,51			Séchage	2049,10	0,01	14,45
		Criblage	1024,55	0,01	5,51			Criblage	2049,10	0,01	14,45
	Refroidissement	Inducteur Energie	1024,55	0,01	5,51		Refroidissement	Inducteur Energie	2049,10	0,01	14,45
		Inducteur Energie	1024,55	0,01	5,51			Inducteur Energie	2049,10	0,01	14,45
	Enrobage	Enrobants	4860,24		0,00		Enrobage	Enrobants	9720,48		0,00
		fuel	4860,23	0,04	190,94			fuel	9720,46	0,05	509,17
		Air comprimé	0,56		0,00			Air comprimé	1,12		0,00
		Inducteur maintenance	68,95	0,00	0,00			Inducteur maintenance	68,95	0,00	0,00
		Inducteur Régime de march	1024,54	0,00	0,00			Inducteur Régime de m	2049,08	0,00	0,00
		Inducteur Arret	418,01	0,00	0,00			Inducteur Arret	418,01	0,00	0,00
Total coût direct variables					10804,19	Total coût direct variables				19466,77	
Coût support arrêt					0,00	Coût support arrêt				0,00	
Coût support maintenance					0,00	Coût support maintenance				0,00	
Coût régime de marche					0,00	Coût régime de marche				0,00	
Coût support énergie					34,88	Coût support énergie				84,31	
Marge						Marge					

Exemple de coût par ligne par heure et par processeur

	07A	07B	07C	07D	107A	107B	107C
Les coûts variables directs							
ASP (Chambal) (19-38)	5675,43	5675,43	5675,43	5105,03	5136,86	5136,86	5136,86
ASP (euro) (19-38)	5675,43	5675,43	5675,43	5105,03	5136,86	5136,86	5136,86
ASP (Std)	6126,00	6126,00	6126,00	6126,00	6029,30	6029,30	6029,30
ASP Borique	3195,23	3195,23	3195,23	3195,23	0,00	0,00	0,00
ASP Zinc	3090,31	3090,31	3090,31	3090,31	2984,24	2984,24	2984,24
DAP (Chambal)	3450,80	3450,80	3450,80	3450,80	3481,46	3481,46	3481,46
DAP (EURO - fin)	3850,85	3850,85	3850,85	3850,85	3350,40	3350,40	3350,40
DAP (EURO -normal)	3850,85	3850,85	3850,85	3850,85	3350,40	3350,40	3350,40
DAP (Std Noir)	3463,49	3463,49	3463,49	3463,49	3222,68	3222,68	3222,68
DAP (Std)	3511,77	3511,77	3511,77	3511,77	3506,62	3506,62	3506,62
MAP (11-52) Zn	7702,93	7702,93	7702,93	7702,93	6889,96	6889,96	6889,96
MAP (Clair) (11-52)	7870,94	7870,94	7870,94	7870,94	7131,24	7131,24	7131,24
MAP (Clair) (11-54)	3816,11	3816,11	3707,18	3816,11	3678,06	3678,06	3678,06
MAP (Reach) (11-52)	3024,31	3024,31	3024,31	3024,31	2996,61	2996,61	2996,61
MAP (Reach) (11-54)	3483,64	3483,64	3483,64	3483,64	3256,36	3256,36	3256,36
MAP (Std) (11-52)	7506,07	7506,07	7506,07	7506,07	7209,60	7209,60	7209,60
MAP (Std) (11-54)	5390,06	5390,06	5390,06	5390,06	4543,88	4543,88	4543,88
MAP (TAP) (11-52)	7769,31	7769,31	7769,31	7769,31	6889,04	6889,04	6889,04
MAP désulfaté	3961,03	3961,03	3961,03	3961,03	3894,27	3894,27	3894,27
NPK (10-18-24-7S)					3021,27	3021,27	3021,27
NPK (12-20-18-6S-18203)					6501,11	6501,11	6501,11
NPK (12-24-12)					2738,40	2738,40	2738,40
NPK (12-24-12-B203)					3309,74	3309,74	3309,74
NPK (14-18-18-5S-18203)					2322,32	2322,32	2322,32
NPK (12-23-14)					5759,86	5759,86	5759,86
NPK (14-23-14-B203)					4700,53	4700,53	4700,53
NPK (14-15-15)					2329,57	2329,57	2329,57
NPK (14-15-15-B203)					6486,58	6486,58	6486,58
NPS (12-40-1Zn)	3469,72	3469,72	3469,72	3469,72	3078,77	3078,77	3078,77
NPS (12-46-7S)	3281,27	3281,27	3281,27	3281,27	3322,47	3322,47	3322,47
NPS (12-46-7S-Zn)	3213,36	3213,36	3213,36	3213,36	3214,82	3214,82	3214,82
NPS (12-48-7S)	4010,80	4010,80	4010,80	4010,80	3826,31	3826,31	3826,31
NPS (16-20-13S)	3155,03	3155,03	1158,24	3155,03	3255,80	3255,80	3255,80
NPS (20-20-15S)	2648,49	2648,49	2648,49	2648,49	2321,97	2321,97	2321,97
TSP	2848,32	2848,32	2848,32	2848,32			

Matrice coût variable pour toutes les qualités ligne par ligne dans l’atelier d’engrais

Annexes

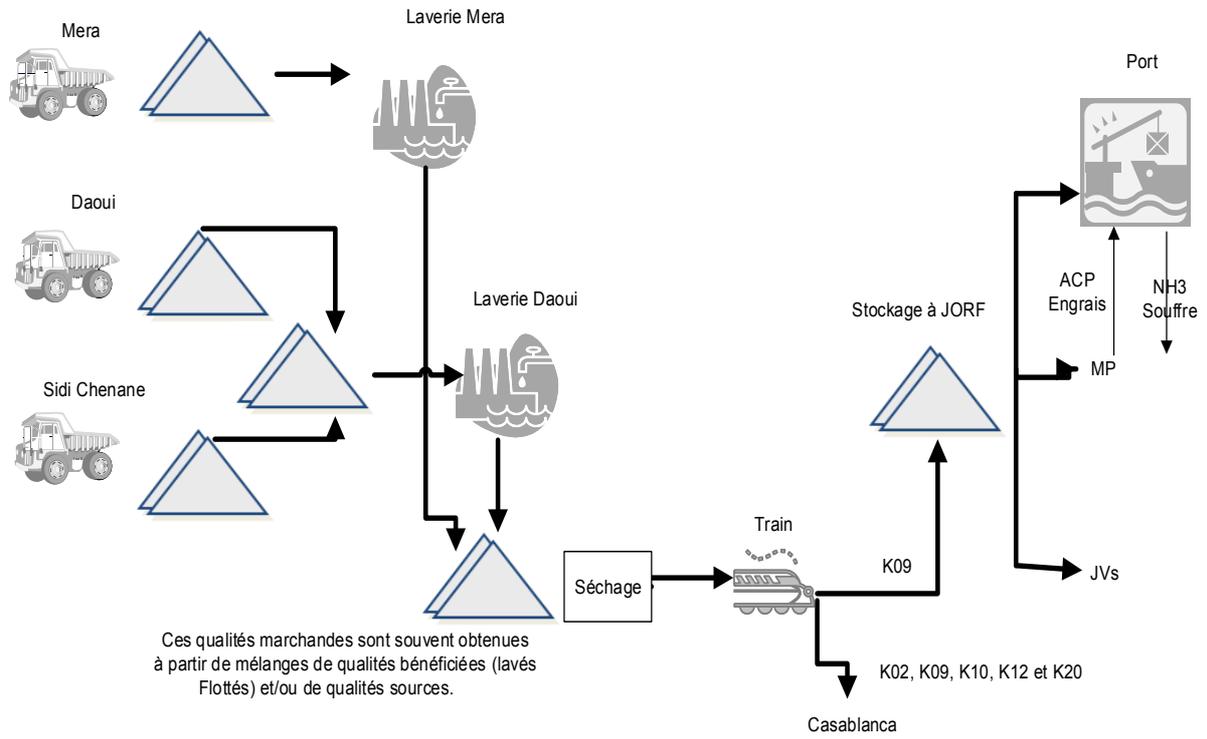
	07A	07B	07C	07D	107A	107B	107C
Inducteur Régime de marche							
ASP (Chambal) (19-38)							
ASP (euro) (19-38)							
ASP (Std)							
ASP Borique							
ASP Zinc							
DAP (Chambal)						1	
DAP (EURO - fin)							
DAP (EURO -normal)							
DAP (Std Noir)							
DAP (Std)							
MAP (11-52) Zn							
MAP (Clair) (11-52)							
MAP (Clair) (11-54)							1
MAP (Reach) (11-52)							
MAP (Reach) (11-54)							
MAP (Std) (11-52)		1					
MAP (Std) (11-54)							
MAP (TAP) (11-52)							
MAP désulfaté							
NPK (10-18-24-7S)							
NPK (12-20-18-6S-1B2O3)							
NPK (12-24-12)							
NPK (12-24-12-B2O3)							
NPK (14-18-18-5S-1B2O3)							
NPK (12-23-14)							
NPK (14-23-14-B2O3)							
NPK (14-15-15)							
NPK (14-15-15-B2O3)							
NPS (12-40-1Zn)							
NPS (12-46-7S)			1	1			
NPS (12-46-7S-Zn)							
NPS (12-48-7s)							
NPS (16-20-13S)							
NPS (20-20-15S)							
TSP							
	induct-support-arrêt	induct-support-maintenance	induct-support-Régime de marche				

Exemple d'inducteur Régime de marche – Maintenance – Arrêt – Energie

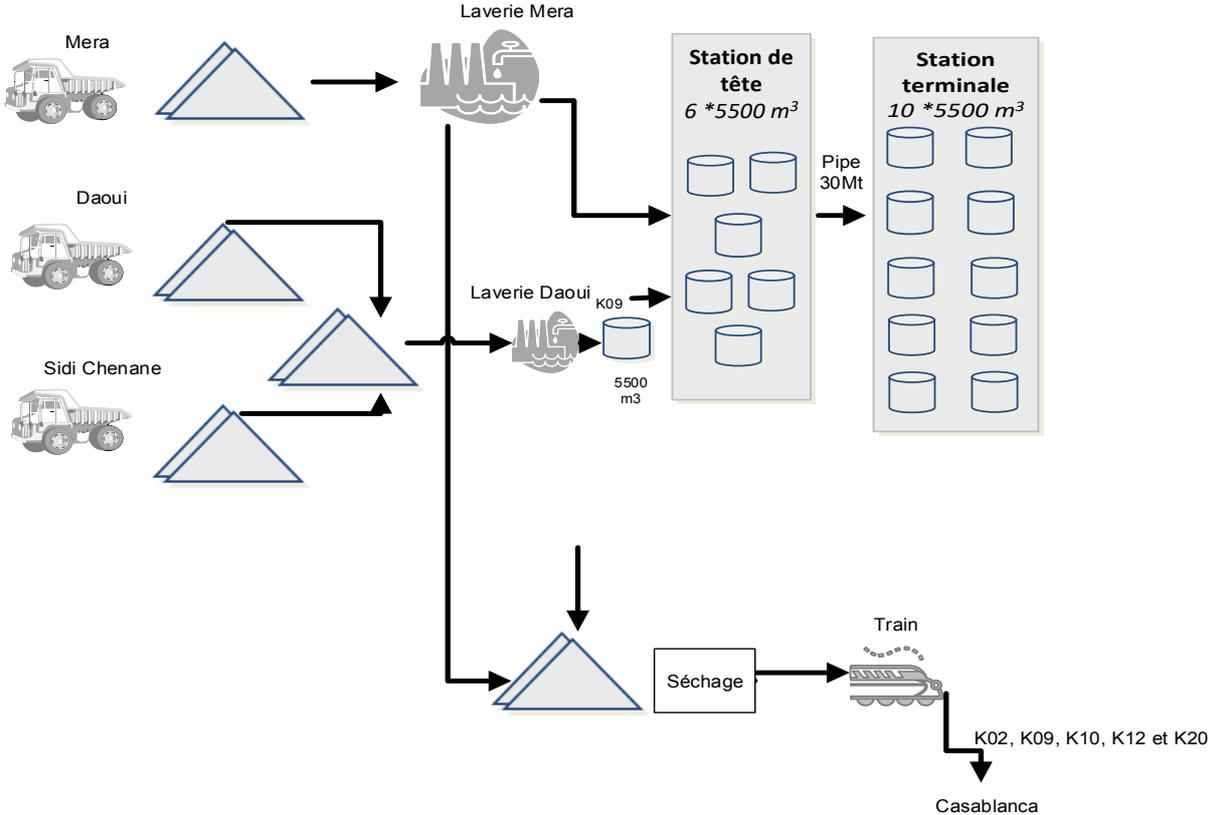
ancienne ligne facteur	0,2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
nouvelle ligne facteur	0,2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
ancienne ligne inducteur	0,0072	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054	0,0054
nouvelle ligne inducteur	0,0094	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071

Exemple de Facteur et inducteur énergie

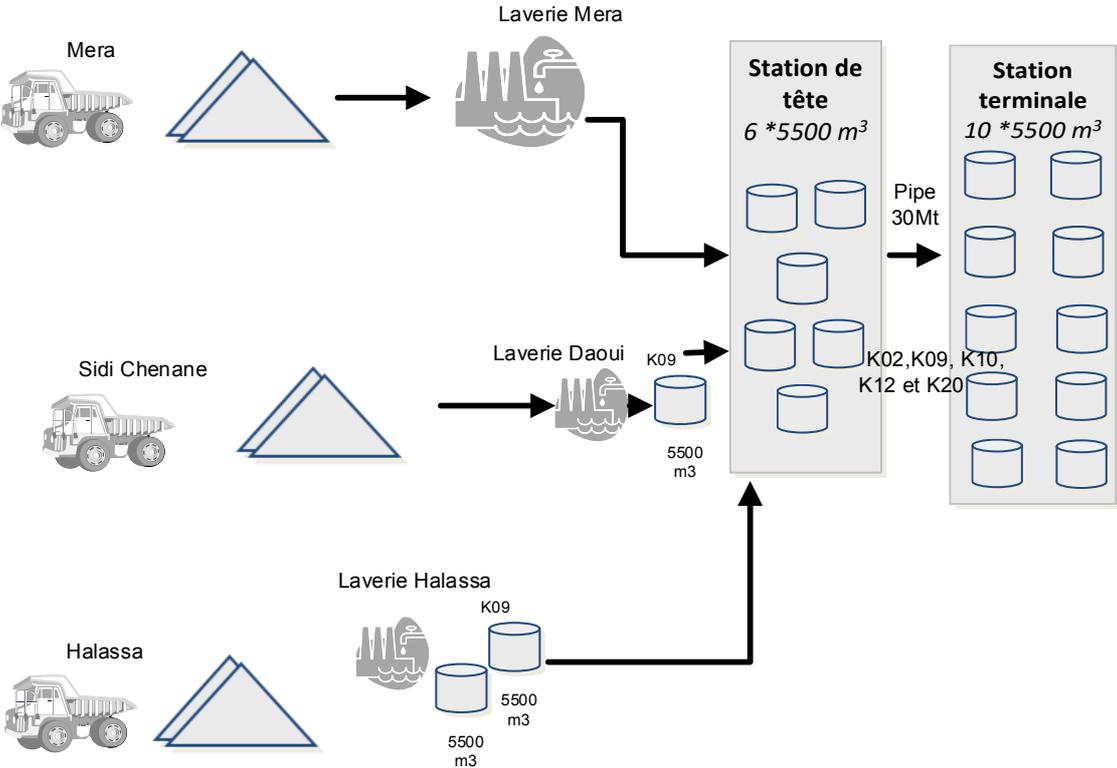
Annexe 6– : Situation début 2013 des liens entre Jorf et les gisements



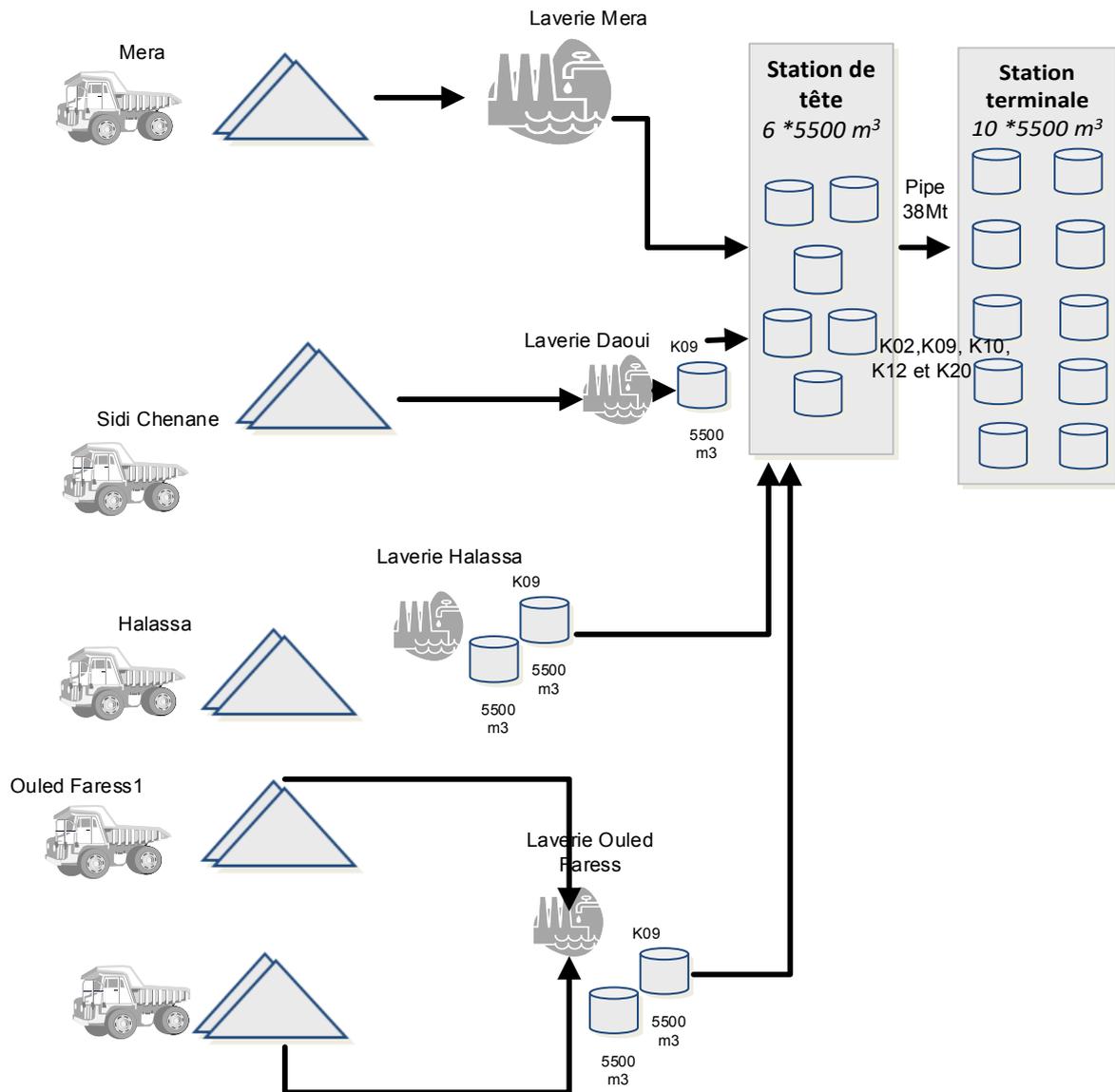
Annexe 7- : Situation à partir de 2014 des liens entre Jorf et les gisements



Annexe 8- : Envoi des K10 K12 K20 par le pipeline en 2017



Annexe 9– : Situation à partir de 2019 des liens entre Jorf et les gisements



Annexe 10– : Procédures pour la distribution des produits depuis Jorf

La direction Programmation et Contrôle Produit a pour vocation principale d'assurer le bon interfaçage entre la direction commerciale, la production et les parties externes (A.N.P., Douane, Surveillants maritimes,...).

La direction Programmation et Contrôle Produit se compose de deux services :

- Service Gestion des Flux : IDJ/CP/F
- Service des Prestations Maritimes : IDJ/CP/M

Le Service Gestion des Flux est situé aux locaux du Groupe OCP SA au port de Jorf Lasfar. Sa mission consiste à assurer la réception des matières premières nécessaires à la marche normale de l'ensemble Industriel du Groupe OCP SA à Jorf Lasfar (Phosphate, Soufre, Ammoniac, acide sulfurique,...) ainsi que le suivi des enlèvements des engrais, phosphate, acide Phosphorique normal et Acide phosphorique purifié à l'export, et au marché national (engrais, acides, ammoniac, soufre, etc...) Pour cela le Service Gestion des Flux veille à :

- La détermination des tonnages du soufre solide et liquide, de l'acide sulfurique et de l'ammoniac à bord des navires à l'import
- La détermination des tonnages des engrais, phosphates et acides à bord des navires à l'export
- Le suivi de l'approvisionnement du marché national en engrais, acides, ammoniac, soufre, etc...
- La supervision du chargement et déchargement des navires
- Le suivi de la programmation de l'acheminement du phosphate pour l'usine et pour l'exportation à partir des zones d'extraction via le site de Jorf Lasfar
- Le suivi de la situation quotidienne des navires, des stocks et des trains
- L'établissement des dossiers navires
- Le suivi et le contrôle des factures émanant des différents intervenants : (EMAPHOS, IMACID, PMP, BMP, différents Services à CIJ, Agences maritimes, ANP, DOUANE, Surveillants maritimes etc...)
- Les déclarations auprès de la douane des opérations d'importations et d'exportations des produits à partir de Jorf Lasfar.

La section douane s'occupe de l'application de la réglementation en vigueur relative au dédouanement des marchandises pour le compte de Maroc Phosphore et J.V. La section douane au service Gestion des Flux se charge des déclarations auprès de la Douane. Ces déclarations peuvent être définitives ou provisionnelles en fonction de la nature de l'utilisation. Les opérations d'importations exigent des déclarations provisionnelles sur trois mois, tandis que celles des exportations exigent des déclarations provisionnelles sur un mois.

Les opérations de mise à la consommation ou à la cession exigent des déclarations définitives auprès de la douane.

La section Ventes Locales se charge du suivi des enlèvements destinés au marché local à savoir : vente du soufre solide, d'acide sulfurique, du soufre liquide, d'acide phosphorique et d'engrais.

Durant les réunions de coordination et de programmation, la direction commerciale et celle de la production arrêtent en commun accord les quantités à vendre sur le marché local.

Sur la base du planning d'enlèvements envoyés par la direction commerciale, la section

Annexes

Ventes Locales assure le suivi et la gestion des ventes en envoyant les situations journalières des ventes aux responsables des chargements.

La section Import assure l'alimentation des unités de production en matières premières nécessaires à la marche normale d'usine. Elle a pour vocation d'assurer le suivi régulier des dossiers d'import, de saisir les réceptions sur la base de données ORACLE et de rapporter les importations mensuelles au contrôle de gestion et à la production après déchargement et réception des documents du navire.

La section Import établit en parallèle le suivi des quantités déchargées et veille à l'établissement des annexes douanières, elle assure également la collecte des données nécessaires à la Douane pour arrêter la déclaration provisionnelle (factures, certificats d'analyses, connaissements, engagements d'importation).

La section Export assure le suivi de toutes les ventes du Groupe O.C.P. par voie maritime. En effet, cette section reçoit l'avis de chargement de la direction commerciale et doit donc préparer la liste des documents nécessaires sous la forme exigée par le client.

La section Export s'occupe par ailleurs de la gestion des prévisions d'accostage et veille à allouer pour chaque navire le quai adéquat au chargement de la cargaison demandée. Elle veille de même à la transmission des ordres de chargement aux chargeurs après les inspections et les calculs initiaux.

La section Export a aussi pour tâche, le contrôle des quantités au cours et à la fin de chargement et l'établissement - dès la fin de chargement - du contrôle final et de la quantité chargée définitive. Cette quantité sera communiquée avec les documents du navire, ainsi qu'un échantillon de la cargaison chargée, à l'agence maritime pour les mettre en dernier lieu au bord du navire.

L'accomplissement des tâches de la section import et export ne peut se faire sans la collaboration des équipes qui assurent les missions suivantes :

- Vérification de la disponibilité et de la validité des documents du navire
- Inspections et calculs initiaux
- Calculs des quantités chargées/déchargées en cours de chargement/déchargement
- Inspections et mesures finales
- Calculs des quantités chargées/déchargées en fin de chargement/déchargement.

Annexe 11– : Procédure de vente des engrais par camion

- Etape 1 : Traitement de la commande

Remarque générale : Les ventes concernées par ce processus sont : Ventes de produits en sac (sacs de 25kg et « bigs bags ») et Ventes de produits en vrac (solide et liquide)

- Le Client émet une commande et effectue le paiement avant la livraison.
 - L'Entité Ventes vérifie les prix, les qualités et les volumes prévisionnels mentionnés dans le contrat. Elle vérifie la commande et le règlement de celle-ci.
 - L'Entité Ventes envoie un mail à l'Entité Gestion des Flux Site et à l'Entité Planification CML en fin de matinée. Celui-ci détaille les commandes confirmées.
 - L'Entité Ventes ne confirmera que les commandes des clients dont le reliquat est > 30 T.
 - L'Entité Gestion des Flux Site met à jour le fichier de suivi journalier mentionnant les reliquats. Elle envoie ensuite les cadences (disponibilités de chargement) par type de produit à l'Entité Planification CML.
 - L'Entité Planification CML vérifie la disponibilité des produits et les reliquats, ainsi que les cadences allouées pour exploitation par le site.
 - L'Entité Planification CML synthétise l'ensemble des contraintes commerciales et industrielles pour établir un programme de chargement des camions par qualité et par secteur (ventes Locales et Export).
 - L'Entité Planification CML transmet le programme de chargement aux différentes parties concernées (Entité Gestion des Flux Site, Entité Ventes, Service Conteneurs) pour action.
 - L'Entité Ventes envoie la liste des créneaux au client pour enlever sa commande.
 - Le Client confirme l'un des créneaux proposés 24h avant l'arrivée du camion.
 - Le Client affrète ensuite un camion et précise le nom du chauffeur et le matricule du camion. Il transmet le bon d'enlèvement au Transporteur en deux exemplaires originaux.
 - L'Entité Ventes envoie au site la liste des camions 24H avant la journée programmée pour le chargement.
 - A son arrivée, le Transporteur présente le bon d'enlèvement à la Sûreté en 2 exemplaires.
 - L'Entité Gestion des Flux Site (site de Jorf Lasfar) vérifie le reliquat du client.
- Etape 2 : Pesage
 - Lorsque le camion se présente, si le reliquat est inférieur à 30 tonnes, la Sûreté refuse l'entrée du camion ce qui marque la fin du processus
 - Si le reliquat est supérieur à 30 tonnes, la Sûreté transmet au Transporteur la fiche circuit
 - L'Entité Gestion des Flux Site (site de Jorf Lasfar) établit l'autorisation de chargement et la transmet au Transporteur. L'autorisation de chargement / déchargement peut prendre la forme d'un document à part ou d'une mention sur le bon d'enlèvement.

- L'Entité Gestion des Flux Site (site de Jorf Lasfar) identifie la qualité du produit sur le bon d'enlèvement et oriente le Transporteur vers le pont de pesage
- L'Entité Moyens Généraux (site de Jorf Lasfar) pèse le camion sur le pont à bascule (taré à vide) puis complète la fiche circuit et la remet au Transporteur
- L'Entité Production (Site de Jorf Lasfar) procède au chargement du camion conformément au bon d'enlèvement puis signe la fiche circuit
- Le camion se présente par la suite à l'Entité Moyens Généraux (site de Jorf Lasfar) afin de peser le camion chargé :
 - Si le camion est surchargé (poids total en charge >44 Tonnes), L'Entité Gestion des Flux Site (site de Jorf Lasfar) établit une autorisation de déchargement puis la Production procède au déchargement du camion
 - Si le camion n'est pas assez chargé, L'Entité Gestion des Flux Site (site de Jorf Lasfar) établit une autorisation de chargement supplémentaire puis la Production procède au chargement du camion. Le choix d'un nouveau chargement du camion est laissé à la discrétion du chauffeur
 - Si le niveau de chargement du camion est acceptable (poids total en charge < ou = 44 Tonnes), l'Entité Moyens Généraux ou l'Entité Métrologie imprime et cache le ticket de pesage en 4 exemplaires
- L'Entité Gestion des Flux Site (site de Jorf) établit et signe le bon de sortie Usine après récupération d'un exemplaire du ticket de pesage
- Etape 3 : Sortie du camion
 - L'Entité Gestion des Flux Site (site de Jorf) signe conjointement le bon d'enlèvement avec le transporteur en deux exemplaires puis garde une copie à archiver
 - Le Transporteur présente le bon d'enlèvement signé, le bon de sortie usine signé, le ticket de pesage et la fiche circuit lors de sa sortie à la Sûreté
 - La Sûreté vérifie les documents remis par le Transporteur et s'assure de la cohérence des signatures du ticket de pesage. A noter que des spécimens de signature des agents de pesage doivent préalablement être communiqués aux agents de Sûreté
 - Au moment de la sortie du camion, la Sûreté étudie le temps de parcours du camion entre le pesage final et l'heure de présentation du camion au point de contrôle :
 - Si le délai est inférieur à 15 min (pendant les heures normales) et 30 min (pendant les heures de pointes), la Sûreté laisse sortir le camion
 - Si le délai est supérieur au temps toléré, la Sûreté avise l'Entité Gestion des Flux Site.
 - En fin de journée, l'Entité Moyens généraux (site de Jorf Lasfar) édite du système un état consolidé des tickets de pesage de la journée
 - Un certain nombre de contrôles sont mis en place pour prévenir les risques d'erreur et de fraude :
 - Contrôles quotidiens :
La Gestion des Flux Site rapproche le rapport des tickets de pesage avec les données fournies par la Métrologie / Moyens Généraux, la Production et la Sûreté.

Sur la base du rapport des tickets de pesage, l'Entité Gestion des Flux Site alimente le rapport journalier des commandes et des enlèvements consolidé puis le diffuse à J+1 à l'Entité Ventes. Ce dernier indique notamment le reliquat restant par client.

- Contrôles hebdomadaires :

Tous les jeudis, l'Entité Ventes demande à son client de lui communiquer l'ensemble des réceptions ayant eu lieu les 8 derniers jours.

Un rapprochement est effectué le lendemain avec les données du site, et ce, en comparant les bons d'enlèvements (stockés au niveau des sites à la fois par la sûreté et par l'Entité gestion des flux) avec les réceptions de la journée (état des commandes).

Résumé:

OCP est une grande entreprise marocaine spécialisée dans l'extraction de minerai de phosphate, cette entreprise a élargi ses activités vers la production de fertilisants phosphatés selon un processus de transformation chimique. Dans le cadre de notre recherche, nous nous intéressons au pilotage économique d'une chaîne logistique hybride (la plateforme chimique Jorf). Cette chaîne logistique est constituée d'un ensemble articulé de chaîne logistique discrète et chaîne logistique continue organisant les processus de transformation du fournisseur jusqu'au client final. Les chaînes logistiques hybrides combinent des processus discrets et continus.

Dans un premier temps, nous nous sommes focalisé sur la représentation du fonctionnement physique. Donc, un modèle de simulation qui permet de reproduire ce fonctionnement a été réalisé à partir de la cartographie de processus que nous avons fait. La technique de Modélisation / Simulation mobilisable dans le cadre de la modélisation de ce type de chaîne logistique est la Simulation à Événements Discrets (SED) qui permet de reproduire le fonctionnement opérationnel de la CLH.

En travaillant à la commande, ceci implique un contrôle de gestion spécifique avec une définition d'un référentiel dynamique qui va dépendre du modèle de simulation. Ce référentiel est utilisable par le système interactif d'aide à la décision (SIAD) du contrôle de gestion afin d'améliorer la prise de décision. Donc, il faut, ensuite, mesurer l'impact économique, évaluer les alternatives décisionnelles et analyser les écarts. Pour ce faire, il faut s'appuyer sur une comptabilité de gestion fondée sur une seconde modélisation / simulation afin de proposer un modèle de coût. Cette seconde simulation, repose sur une représentation plus fine des processus dans une perspective de reporting financier périodique et doit permettre de mieux apprécier les inducteurs de coûts. Dans ce contexte, nous avons choisi la méthode de valorisation Activity Based Costing (ABC). En outre, dans la cartographie des processus, chaque étape de production impliquant un changement de processus et contribuant à son discrétisation représente un événement déclencheur mettant en évidence un inducteur de coût. Nous avons ainsi traité chaque processus au niveau de la Business Unit (BU) "acide" et au niveau de la BU "engrais" afin de déterminer les inducteurs utilisés pour répartir les dépenses. Notre modèle ABC sert donc à mesurer la création de valeur pour chacun des BUs de la CLH et il est capable de prendre en compte toutes les sorties et entrées de chaque entité de traitement.

Par la suite, notre but est d'explorer l'intégration de la notion de coût dans le modèle de simulation. La limite de la simulation à événements discrets se manifeste dans le niveau d'informations fourni sur les coûts. Pour évaluer les coûts de production, et l'influence de la diversité de scénario de production, les coûts variables doivent être inclus. Ceci peut être fourni par la combinaison de la simulation à événements discrets avec la méthode ABC. Donc, nous avons proposé une approche qui sera mise en œuvre dans le contexte de la CLH de l'OCP. Cette approche va prendre en compte le couplage entre ABC et SED avec toutes les règles de traduction pour pouvoir, à partir du système de contrôle de gestion existant qui est associé à des centres de coûts par entité fonctionnelle, passer à des BUs orientées processus industriels. Elle va également nous permettre de structurer les indicateurs de performance du flux physique et financier sous la forme d'un tableau de bord.

