



HAL
open science

USAGE DES PÉNALITÉS DANS LES MODÈLES ÉCONOMIQUES DE MANAGEMENT INDUSTRIEL

Najat Bara, Frédéric Gautier, Vincent Giard

► **To cite this version:**

Najat Bara, Frédéric Gautier, Vincent Giard. USAGE DES PÉNALITÉS DANS LES MODÈLES ÉCONOMIQUES DE MANAGEMENT INDUSTRIEL. 13ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation- MOSIM'20, Nov 2020, Agadir, Maroc. hal-03005697

HAL Id: hal-03005697

<https://hal.science/hal-03005697>

Submitted on 14 Nov 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

USAGE DES PÉNALITÉS DANS LES MODÈLES ÉCONOMIQUES DE MANAGEMENT INDUSTRIEL

Najat Bara^{1,2}, Frédéric Gautier^{1,2}

¹ EMINES, University Mohammed VI
Ben Guerir, Morocco

² IAE Paris, Sorbonne Business School,
Université Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris, France

Najat.BARA@emines.um6p.ma

frederic.gautier@univ-paris1.fr

Frederic.Gautier@emines.um6p.ma

Vincent Giard^{1,3}

³ Université Paris-Dauphine, PSL Research University
Paris, France

vincent.giard@dauphine.psl.eu

vincent.giard@emines.um6p.ma

RÉSUMÉ : *La prise de décision en management industriel fait un appel croissant à des modèles d'optimisation comportant un éclairage économique, et donc privilégiant une performance définie en termes d'efficacité. Cet éclairage économique nécessite le recours à un modèle de coûts qui doit être compatible avec l'impact dans le temps et dans l'espace des décisions envisagées. Les conséquences des décisions proposées peuvent compromettre le respect de certains critères d'efficacité du système productif étudié ou de systèmes clients. Pour éviter ces impacts indésirables, de nombreux modèles décisionnels introduisent, dans la fonction économique, des coûts de pénalité qui ne peuvent être obtenus par la comptabilité de gestion. Cet article tente de décrire le rôle et la détermination des pénalités dans ces modèles.*

MOTS-CLÉS : *Gestion de production, Gestion de performance, Recherche opérationnelle, Modélisation des systèmes, Comptabilité de gestion, Pénalité.*

1 REMARQUE PRÉALABLE

Cet article présente quelques observations sur le rôle et la définition des pénalités dans les modèles d'optimisation économiques de management industriel que proposés dans de nombreux articles et manuels de management industriel. Il n'est pas question ici de s'interroger sur la pertinence de ce type d'approche d'aide à la décision, ni de produire un état de l'art fondé sur une large revue de littérature. Nous visons plus modestement à formuler quelques remarques méthodologiques et typologiques auxquelles conduisent ces observations. Toutefois, le lecteur est renvoyé à quelques articles illustrant l'usage de quelques types de pénalités peu fréquentes.

2 INTRODUCTION

On s'intéresse ici à un système productif fournissant des produits (terme générique que l'on utilisera ici pour désigner aussi bien des produits que des prestations de service) à des clients, par l'intermédiaire d'un ensemble de ressources matérielles, humaines et informationnelles. Cette définition générale permet d'inclure, notamment, les systèmes dédiés à la production de biens ou de services, et à l'approvisionnement ou la distribution de biens. La modélisation du processus de production d'un système productif est une description formelle des relations entre l'utilisation des ressources de ce système et la fourniture des produits demandés. Le niveau de détail du modèle –

sa granularité – varie selon que le modèle vise une prise de décisions opérationnelles, tactiques ou stratégiques.

Dans cette description formelle, que l'on qualifie ici de modèle physique (voir figure 1), les décisions sont représentées par des variables quantitatives (quantité à commander...) ou des variables qualitatives (itinéraire de transport, configuration d'investissement...) transcrites par des variables binaires dans certaines modélisations. Ces variables, qualifiées de *variables de commande*, influencent le fonctionnement du système productif étudié par un ensemble de relations causales plus ou moins complexes qui sont au cœur de la modélisation retenue. Ces mécanismes conditionnent la valeur prise par certains paramètres physiques (niveau de stock, kilométrage parcouru...) retenus en raison de leur impact sur la performance du système de production étudié. Ces paramètres sont généralement qualifiés de *variables d'état* dans les modélisations peu complexes qui mobilisent un nombre restreint de paramètres physiques ; on gardera ici ce vocable quelle que soit la complexité de la modélisation.

Le modèle décisionnel peut s'appuyer uniquement sur le modèle physique en cherchant à optimiser un indicateur d'*efficacité*, calculé à partir d'une ou plusieurs variables d'état et, dans certains problèmes décisionnels, de variables de commande binaires. Le plus souvent, cette approche de la performance est considérée comme insuffisante car elle ne tient pas compte du coût des ressources mobilisées pour satisfaire la demande et qu'il existe souvent plusieurs solutions alternatives ayant la même efficacité mais pas le même coût. Cette vision économique de la performance est qualifiée d'*efficacité* et, parmi toutes

les solutions ayant la même efficacité, on a intérêt à privilégier la plus efficace. La détermination de l'efficacité d'une solution passe par une valorisation globale d'une solution obtenue dans le modèle physique (là encore, variables d'état et variables de commande binaires), par un système de coûts fourni par une comptabilité de gestion.

Le modèle décisionnel combine alors (voir figure 1) le modèle physique et le modèle comptable pour trouver la solution qui optimise cet indicateur d'efficacité, en prenant en compte la disponibilité des ressources et, parfois, certaines contraintes d'efficacité.

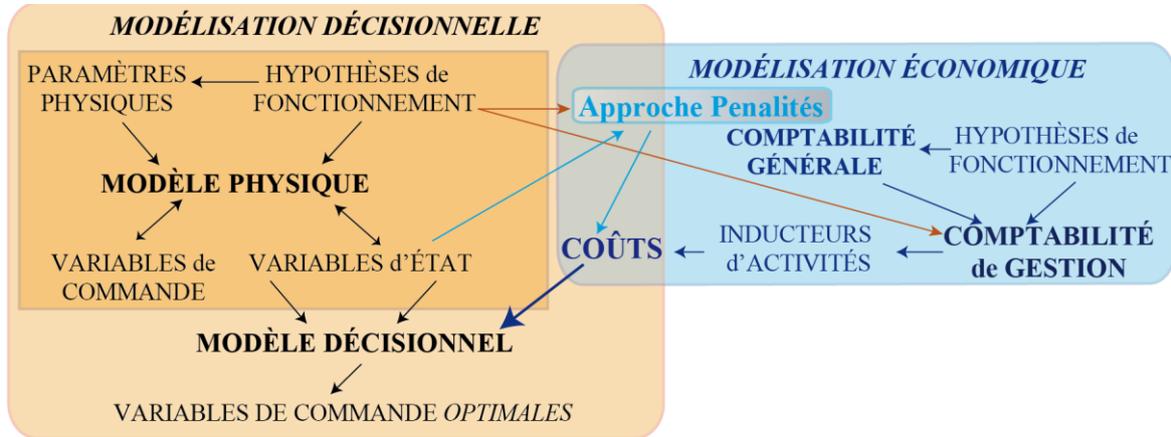


Figure 1 : intégration des pénalités dans les modèles décisionnels s'appuyant sur une évaluation économique

Les coûts fournis par la comptabilité reposent implicitement sur une modélisation du fonctionnement du système productif qui peut être éloignée de celle retenue par le modèle physique pour analyser les conséquences physiques des décisions à prendre, cette discordance pouvant invalider la pertinence de la solution retenue. On reviendra en détail sur ce point.

Par ailleurs, les conséquences de certaines décisions optimales, économiquement fondées, peuvent compromettre les attentes des clients de ce système productif (attentes mesurées par des variables d'état), invalider certaines hypothèses relatives à la demande et remettre en cause la pertinence des décisions proposées par le modèle. Pour éviter cet écueil, certains modèles ajoutent au système de coûts, des pénalités qui ne peuvent pas être tirés de la comptabilité de gestion et qui sont associés à des variables d'état que l'on cherche à « contenir » dans la recherche de l'optimum. Ces pénalités sont des coûts et donc logiquement intégrées dans la partie modélisation économique de la figure 1, adaptée de (Giard, 2017).

L'objectif de cet article est de décrire les contextes dans lesquels ces pénalités sont prises en compte et leurs déterminations. Pour ce faire, il est nécessaire de préciser les caractéristiques des représentations physiques sous-jacentes dans la modélisation décisionnelle (section 2). Ceci permet de distinguer le cas des pénalités associées à la défaillance du système étudié se trouvant dans l'incapacité de répondre complètement à la demande (section 3), de celles qui sont associées à un critère d'efficacité de certains produits (section 4). Notre article s'achèvera par une rapide conclusion.

3 MODÉLISATION ET PRISE DE DÉCISION EN MANAGEMENT INDUSTRIEL

On commencera par examiner les principales caractéristiques du modèle physique utilisé par le modèle décisionnel pour prendre des décisions (§3.1), avant d'examiner rapidement les bases du système de coûts offert par la modélisation économique – principalement la comptabilité de gestion – que le modèle décisionnel combine avec le modèle physique pour proposer la solution la plus efficace (§3.2).

3.1 Modélisation des processus sous-jacente dans la modélisation décisionnelle

Une modélisation décisionnelle se caractérise principalement par la combinaison de trois caractéristiques : le degré de certitude des informations mobilisées, la réalité du système étudié et la granularité spatio-temporelle retenue.

- Les caractéristiques du système productif et de son environnement sont considérées comme *connues avec certitude* –et le problème décisionnel se pose en univers certain –ou non. Le plus souvent, dans ce dernier cas, ces caractéristiques sont supposées être connues *en probabilité* ; on n'évoquera pas ici le cas de l'univers incertain parce qu'il fait généralement l'objet de traitements spécifiques dans lesquels l'optimisation joue un rôle mineur. Cette caractérisation a un impact sur les techniques de modélisation utilisables. Dans la modélisation en univers aléatoire, les variables d'état deviennent aléatoires. Cette caractéristique conduit à travailler en espérance mathématique dans le cadre de modèles analytiques pour les systèmes fictifs très simples ou, dans les cas plus

complexes, à travailler avec l'approche de Monte Carlo, dans le cadre d'une modélisation sur tableur ou sur simulateur de processus. En univers certain, la programmation mathématique est bien adaptée à la formalisation de problèmes où les relations causales sont simples, la modélisation via un tableur s'imposant dans les autres cas.

- Le système productif étudié peut être *réel ou fictif*. La littérature de la recherche opérationnelle privilégie des systèmes fictifs relativement simples pour établir la *solution analytique* caractérisant la solution optimale d'un problème décisionnel-type (par exemple, gestion d'approvisionnement). Les systèmes fictifs peuvent être plus complexes et posséder un dimensionnement variable conduisant à une *modélisation générique* du problème posé (par exemple détermination d'une tournée de transport) par exemple par la programmation mathématique ou la théorie des graphes et, dans certains cas, conduire à une proposition d'algorithme de résolution spécifique. Un certain nombre de recherches, conduites dans le cadre de contrats industriels, s'intéressent à une problématique décisionnelle se posant pour un système productif réel. Dans ce cas, la modélisation peut conduire à l'évaluation de scénarios décisionnels (*what-if analysis*), à la formulation d'un problème d'optimisation si la complexité est très réduite, à la formulation d'un modèle de simulation ou à un système d'aide à la décision combinant la logique de scénarios avec des optimisations locales et/ou de la simulation. La démarche proposée est souvent suffisamment générique pour être transposable à des systèmes productifs de caractéristiques similaires confrontés aux mêmes problèmes décisionnels.
- La *granularité* retenue dans la modélisation, dans ses dimensions *spatiales et temporelles*, est un élément important de caractérisation de la modélisation décisionnelle. Le temps intervient sous plusieurs aspects : modélisation mono ou multi-période, amplitude de la période et horizon retenu dans le cas multi-période. La granularité comporte aussi une caractérisation spatiale, avec le niveau de détail (ou d'agrégation) des ressources et des produits. La granularité dépend souvent du périmètre du système étudié : en règle générale, la granularité est fine dans l'analyse des décisions opérationnelle (périmètre de modélisation restreint) et plus agrégée dans les autres, à ceci près que beaucoup de décisions stratégiques impliquent de travailler également avec une modélisation fine pour s'assurer de la robustesse de la solution obtenue avec une modélisation agrégée.

3.2 Modélisation implicite des processus sous-jacente dans la modélisation économique

La comptabilité de gestion (au sens large car plusieurs approches sont utilisables) traite les informations de la comptabilité générale pour mesurer le coût de fonctionnement d'une entité (service, usine...), le coût de production

d'une prestation interne (envoi d'un conteneur) et le coût de fabrication d'un produit. Elle a pour objectif d'aider au contrôle. L'établissement de ces coûts pose deux problèmes méthodologiques majeurs ; on se focalisera sur le coût d'un produit mais ces problèmes se posent également pour le coût d'un service.

- Le premier problème est celui de l'*affectation de charges indirectes* aux produits ou entités. Les charges indirectes correspondent à des prestations ou des inputs partagées par plusieurs produits (dépenses énergétiques d'un atelier ne disposant que d'un compteur unique, frais généraux...) et peuvent (ou non) être réparties entre ces produits. Le caractère direct ou non d'une charge est étroitement lié à l'organisation du système productif. La distinction entre coût direct et indirect d'un produit dépend du *niveau d'agrégation retenu* : une charge peut être indirecte au niveau d'une référence élémentaire de produit et devenir directe si l'on raisonne au niveau d'une famille de produits ou d'un ensemble de produits fabriqués dans un même site. Par ailleurs, on est souvent amené à travailler par famille de produits, les produits d'une famille mobilisant les mêmes ressources. Le calcul du coût direct d'un produit fictif représentant une famille est nécessairement un coût moyen pondéré des coûts directs des références de cette famille, où les coefficients de pondération correspondent à une structure moyenne dont la stabilité n'est pas garantie.

Depuis plus de deux décennies, la *comptabilité par activité* s'est imposée comme une démarche de base en comptabilité de gestion, parce qu'elle permet de diminuer l'arbitraire du traitement des coûts indirects. Son fondement est de remplacer la relation causale directe « les produits consomment les ressources », par la relation causale indirecte « les produits consomment les activités qui consomment les ressources ». Cette approche englobe les autres approches de la comptabilité de gestion qui peuvent s'en déduire ; c'est la raison pour laquelle elle est privilégiée ici. Le concept d'activité est large et ne se focalise pas sur la seule production d'un produit ; elle peut correspondre, par exemple à un lancement d'une série en production. Cette démarche, qui met l'accent sur des *inducteurs d'activité*, permet une définition plus pertinente des coûts utilisés en modélisation décisionnelle.

- Se pose ensuite le problème de l'impact du *niveau d'activité* sur le calcul de ces coûts aussi bien pour les charges directes que pour les charges indirectes (amortissement d'une machine dédiée à une production). On peut partir du niveau d'activité constaté – avec l'inconvénient de rendre difficile des comparaisons dans le temps et dans l'espace – ou choisir de fonder ces calculs sur un niveau d'activité « normal ». Cette dernière solution, généralement retenue, facilite les comparaisons dans le temps (et dans l'espace) mais soulève deux difficultés. Il ne peut exister de définition objective de ce niveau, ce qui est une

source possible de contestations, voire de malversations. La discordance entre le niveau d'activité observé et celui considéré comme normal pose nécessairement un problème de cohérence entre la comptabilité générale et la comptabilité de gestion, la somme des coûts de cette dernière pouvant être assez différente de celle des charges de la comptabilité générale.

Plusieurs solutions existent pour répondre à ces problèmes et permettre le calcul d'un coût partiel ou d'un coût complet. Il n'est pas nécessaire ici de les examiner, ce qui importe c'est la mise en évidence du fait que le coût que l'on utilise dans un système de valorisation est le résultat d'une modélisation du fonctionnement d'un système productif dans laquelle il est fait usage de conventions sur la répartition dans le temps de certaines charges, de conventions sur le niveau d'activité de ce système productif et de conventions sur une éventuelle répartition de certaines charges indirectes reposant sur des relations causales parfois contestables.

Ces coûts sont établis pour être utilisés principalement en contrôle de gestion ; ils ne peuvent l'être sans précaution pour la prise de décisions en management industriel. Dans ce contexte, quelques considérations additionnelles doivent être prises en compte pour définir, à partir des informations fournies par la comptabilité de gestion, des coûts qui soient pertinents dans la perspective décisionnelle retenue. Le principe conducteur est que le système de valorisation doit être tel que les avantages de la décision proposée, par rapport à une décision de référence (qui peut être de ne rien faire), puissent être observables sur les résultats financiers de l'organisation concernée. À cet effet, quelques considérations additionnelles doivent être prises en compte, pour définir un système de coûts pertinent pour l'évaluation des décisions prises en management industriel.

- La comptabilité de gestion est orientée vers la détermination de coûts d'un produit (au sens large, rappelons-le). Un problème décisionnel se pose plutôt en termes de coût d'une décision en comparaison avec une décision de référence (définie par les valeurs retenues pour les variables de commande), pas toujours explicitée. La solution analytique optimale d'un système fictif (règles d'approvisionnement, par exemple) ne considère pas de solution de référence. L'application de cette relation à un cas réel pour améliorer une décision récurrente, fait appel à un système de coûts dont l'intérêt n'est pas seulement de pouvoir déterminer les variables de commande mais aussi de mesurer le gain obtenu en passant de la solution courante à la solution optimale, ce gain ayant pour vocation à se retrouver dans le compte de résultats, faute de quoi cette optimisation est vide de sens. Dans le cas de systèmes réels, une alternative décisionnelle (portant sur un ensemble de variables de commande) s'évalue nécessairement en rapport avec une solution décisionnelle de référence qui peut être de ne rien faire (extension d'usine, par exemple) ou de reconduire l'existant à l'identique (remplacement d'une machine, par exemple). Cette analyse économique

comparative porte le nom de *bilan différentiel* et permet d'éliminer toutes les charges inchangées, quelle que soit l'alternative décisionnelle étudiée (Bara et al., 2019). Certaines décisions ont un impact sur les recettes ; on ne traitera pas cet aspect ici car il est évident à prendre en compte dans un bilan différentiel.

- La comptabilité de gestion propose, dans cette perspective de contrôle de gestion, des objets de coûts (produits ou entités organisationnelles) qui peuvent être éloignés des besoins de l'évaluation dans les modèles décisionnels. Les fonctions de coût liées aux variables de décision peuvent ne pas être identifiées dans le système de comptabilité de gestion. Ce constat conduit à vérifier, sur le plan méthodologique, que les fonctions de coûts utilisées ne sont pas trop éloignées de la maille d'analyse retenue par le système de comptabilité de gestion.
- Les économistes ont introduit très tôt la distinction entre coût fixe et coût variable, le coût fixe étant indépendant du volume de production. Ce concept est intéressant dans l'analyse décisionnelle, dès lors que l'on introduit explicitement l'horizon de temps retenu dans la prise de décision et qu'on le généralise à d'autres décisions que celles de la production.
- Ajoutons, pour terminer, que les alternatives décisionnelles étudiées peuvent avoir un impact sur plusieurs périodes, ce qui conduit à utiliser l'actualisation pour synthétiser les variations de flux de trésorerie calculées dans le bilan différentiel pour travailler sur une VAN (Valeur Actuelle Nette).

4 PÉNALITÉS ASSOCIÉES À LA DÉFAILLANCE DU SYSTÈME PRODUCTIF

On peut distinguer deux grandes familles de raisons qui sont à l'origine de l'introduction de pénalités dans un modèle décisionnel avec prise en compte d'un éclairage économique, seul cas envisagé ici.

4.1 Rétroaction possible de la solution sur les paramètres du modèle

Les modèles génériques qui traitent de systèmes *fictifs* proposent des solutions génériques, définies en régime de croisière, qui sont souvent utilisées pour apporter des solutions opérationnelles à des problèmes *concrets*. Ces modèles reposent tous implicitement sur l'hypothèse d'indépendance entre les solutions qu'ils préconisent et les paramètres physiques et coûts qu'ils utilisent.

- La solution proposée, en réponse à un problème concret, peut invalider le système de coûts utilisé et remettre en cause la pertinence des solutions proposées par le modèle. On évoquera rapidement ce point, généralement négligé, même s'il ne conduit pas à l'introduction de pénalité.
- Il n'en est pas de même pour la remise en cause de l'indépendance entre les solutions et les paramètres du modèle physique, principalement ceux qui traitent

des caractéristiques de la demande adressée au système productif étudié.

Certains coûts de ces modèles génériques traitant de systèmes fictifs, comme les coûts de commande et de possession, utilisés dans les modèles d'approvisionnement, qui sont calculés comme la somme d'un coût variable direct et du quotient de charges annuelles d'un service dédié, par le nombre de prestations similaires que ce service fournit (nombre moyen de commande et niveau de stock moyen, historiquement constatés). L'application généralisée de ce type de modèle peut modifier sensiblement à la baisse ce nombre prestations, invalidant de ce fait le coût de commande à l'origine de cette solution. Cette observation devrait conduire à une démarche itérative pour faire converger la représentation du modèle physique du modèle décisionnel et celle du modèle de coût, ce qui n'est presque jamais fait et diminue l'intérêt de l'appel à ce type de modèle.

L'application à un problème réel, de la solution optimale proposée par un modèle décisionnel portant sur un système fictif stochastique peut remettre en cause les caractéristiques de la demande si elle conduit à une probabilité de rupture suffisamment élevée pour entraîner une modification progressive des caractéristiques de la demande (en particulier, de son niveau). Il s'ensuit une perte de *goodwill* que l'on cherche à limiter en introduisant dans le modèle un coût de rupture qui a pour objet d'empêcher ou de limiter les modifications de la demande. Le lien entre ce coût de rupture et la limitation de la perte de *goodwill* est impossible à établir objectivement ; on se trouve alors plus dans une logique de pilotage des comportements que dans une approche économiquement fondée.

4.2 Impact de la non-satisfaction de toutes les demandes

La demande exprimée sur la période retenue par le modèle décisionnel peut ne pas pouvoir être satisfaite en totalité. Ce cas de figure est pris en compte dans la modélisation de systèmes *fictifs* conduisant à des solutions analytiques prenant en compte un éclairage économique, principalement dans un contexte *stochastique* défini en régime de croisière. Dans ce type de modèle, l'arbitrage économique conduit à accepter de ne pas satisfaire toutes les demandes. Deux cas de figure, fondés sur le type de client du système étudié, le client final (B2C) ou un autre système productif (B2B), doivent être distingués pour comprendre les conséquences d'une défaillance et donc le type de pénalité à mettre en œuvre.

4.2.1 Système productif de type B2C

Le système étudié vend des produits directement utilisés par le client final. Deux cas de figure doivent être distingués, selon que ce produit est personnalisé ou non.

Dans le premier cas (prestation de transport avec réservation, série limitée...), une pénalité est versée aux clients si le contrat ne peut être honoré. Le *yield management* illustre bien cette situation pour laquelle plusieurs modèles existent pour déterminer le nombre optimal de places à

vendre en surréservation. Dans ce cadre, la détermination de la pénalité à verser aux clients acceptant de renoncer à la prestation achetée est une affaire de « perception des comportements » par les spécialistes du *yield* et peut difficilement être fondée rationnellement en raison de la multiplicité des contextes de défaillance, cette détermination pouvant toutefois être défini par une norme réglementaire (c'est le cas de l'UE).

Le système peut vendre à des clients un produit banalisé (par exemple, quotidiens, bouteilles d'eau), dont la demande est définie sur une période séparant deux réapprovisionnements. On commencera par une présentation de ce type de modèle en considérant que le modèle générique étudié ne traite qu'un seul produit, avant d'envisager la généralisation de ce type de modèle à une gestion conjointe de plusieurs produits.

- Le critère économique est logiquement celui de la maximisation de l'espérance mathématique de la marge, qui fait intervenir le produit de l'espérance mathématique de la demande satisfaite par le prix de vente, diminué de l'espérance mathématique du coût des invendus au cours de la période. Si le prix de vente n'est pas sujet à des variations, on utilise alors une approche équivalente de minimisation d'une espérance de coûts dans laquelle intervient le produit de l'espérance mathématique de la rupture de stock, par un coût de rupture. Dans le cas de demandes non satisfaites perdues, ce coût de rupture est généralement la marge unitaire procurée par la vente du produit, ce qui correspond à un coût d'opportunité. On augmente parfois ce coût de rupture d'une pénalité si les données du problème conduisent à une probabilité de rupture trop forte, pouvant remettre en cause les caractéristiques de la demande (comme évoqué à la fin du §3.2). On notera que ce type d'approche tient difficilement compte des reports possibles de la demande sur des produits substituables. Dans le cas d'une demande satisfaite différée, le coût de rupture correspond à une estimation assez arbitraire d'un coût de traitements administratif de la demande différée.
- Le plus souvent, l'hypothèse de gestion indépendante des approvisionnements n'est pas acceptable, le système productif considéré devant gérer simultanément de nombreux produits en tenant compte de diverses contraintes comme celles d'un niveau maximal d'immobilisation financière ou d'utilisation d'un espace de stockage. La fonction-objectif devient alors la somme des fonctions-objectifs des problèmes élémentaires et, dans la résolution analytique du problème, on doit introduire les contraintes d'utilisation conjointe des ressources limitées considérée (Giard 2003, chap.12). On est alors amené à optimiser un lagrangien constitué de :
 - la somme des fonctions-objectifs des problèmes élémentaires et
 - de la somme pondérée des différences entre dotations et consommations des contraintes, par un « multiplicateur de Lagrange ».

Les solutions analytiques trouvées dans un contexte d'indépendance sont alors modifiées et ce multiplicateur de Lagrange s'interprète comme une pénalité puisqu'il mesure le coût marginal du resserrement de la contrainte sur la ressource considérée. Il faut souligner que cette pénalité n'est pas sous contrôle du décideur qui ne peut agir dessus qu'en modifiant les dotations de contraintes.

4.2.2 Système productif de type B2B

Il convient de distinguer le cas de pénalités contractuellement définies entre deux parties, de celui de pénalités définies arbitrairement.

Cas de pénalités contractuellement définies.

Le premier cas ne suscite pas de problèmes méthodologiques particuliers car il s'agit bien d'un coût réel supporté en cas de défaillance du système. A priori, ce cas de figure ne se rencontre pas dans les modèles génériques qui traitent de systèmes fictifs. Les modèles décisionnels portant sur des systèmes réels et utilisant ce type de pénalité sont plutôt en univers certain. On peut illustrer ce cas de figure dans la gestion portuaire : l'armateur, qui équipe le navire et le frète, est tenu de mettre un navire à la disposition de l'affréteur qui loue le navire pour acheminer ses marchandises, pour l'utiliser à quai pendant une période contractuellement définie ; en cas de dépassement de cette période, l'affréteur doit payer une pénalité financière (*demurrage*) à l'armateur ; souvent, l'affréteur gère un ou plusieurs quais et travaille avec plusieurs armateurs, ce qui le conduit à devoir intégrer l'existence de ces pénalités, proportionnelles au temps de dépassement, dans les modèles d'utilisation optimale des quais (Bouzekri *et al.*, 2019a) (Bouzekri *et al.*, 2019b).

Cas de pénalités arbitrairement définies.

Dans une logique de chaîne logistique (CL), la production du système étudié (maillon-amont, fournisseur) peut être acquise par un autre système de production (maillon-aval, client) pour permettre sa propre production (par exemple, approvisionnement de composants par une usine). Rentrent dans la même catégorie les modèles de maintenance qui visent à gérer la disponibilité d'un équipement fournissant des prestations opérationnelles à un atelier. On s'intéresse ici à des modèles décisionnels portant sur des systèmes fictifs ou réels fonctionnant en univers aléatoire, la modélisation en univers certain ne présentant que peu d'intérêt.

Dans ce contexte, la non-satisfaction de la demande a des conséquences bien différentes de celles analysées au §3.2.1, car elle induit un arrêt de production sur un poste de production du système client. La propagation dans temps et dans l'espace de cette rupture d'approvisionnement conduit progressivement à des arrêts de production en amont et en aval du poste concerné, respectivement par saturation de stock et désamorçage (composants manquants). Cette propagation est particulièrement rapide si la production du client est organisée en ligne. Dans ce

contexte, les conséquences économiques ne sont pas directement liées à un nombre ou une durée de rupture de stock.

Certains modèles d'approvisionnement proposent une solution analytique s'appuyant sur une distribution de probabilité de la durée de rupture et l'usage d'une pénalité horaire ou sur une pénalité indépendante de la durée de rupture, supportée en cas de rupture d'approvisionnement (Naddor, 1966) ; de tels paramètres semblent difficiles à déterminer objectivement.

Ce problème peut être pris de manière radicalement différente, s'il est possible d'anticiper l'occurrence de la rupture de stock d'une journée ou deux, ce que l'interconnexion des systèmes d'information permet assez facilement. On peut alors envisager de mettre en place une procédure d'approvisionnement d'urgence certes coûteuse mais empêchant la rupture de stock de se produire (Sali & Giard 2015). Selon la solution d'urgence retenue, la pénalité peut être proportionnelle au nombre d'unités manquantes (solution de type DHL) ou varier par palier (par exemple, affrètement d'un ou plusieurs avions ou camions).

5 PÉNALITÉS ASSOCIÉES À LA VALORISATION D'UN CRITÈRE D'EFFICACITÉ

Ce cas de figure peut se poser dans les modèles décisionnels établis en univers certain et portant sur des systèmes réels correspondant à des maillons productifs d'une CL continue ou hybride. Dans ce contexte, le maillon-amont MP1, pour lequel on établit un modèle décisionnel a pour client un maillon-aval MP2 de la CL qui définit sa demande en quantité et qualité. Pour mieux faire comprendre la problématique des pénalités dans ce cas de figure, nous nous appuyons sur un exemple réel.

Contrairement aux processus discrets dans lesquels on arrive à maîtriser la qualité des composants et modules utilisés et produits, la production continue est tributaire des caractéristiques de la matière première, lesquelles ne sont pas stables. Par exemple le lot de minerais de phosphate utilisé par MP2 pour fabriquer un lot d'acide phosphorique est fourni par MP1 qui fabrique ce lot par mélange de minerais extraits par le maillon de l'extraction de la CL, dont il est client. Ces minerais extraits sont de compositions différentes et leur production dépend de contraintes géologiques. Le mélange demandé par MP2 doit respecter une charte-qualité définie par des plages de valeurs pour quelques composants chimiques et MP1 cherche la solution la plus économique pour lui, tenant compte des disponibilités de minerais extraits. Ces contraintes de composition sont relativement faciles à prendre en compte mais le problème additionnel est que deux lots de minerais livrés successivement à MP2, tout en respectant la charte qualité, n'ont pas la même composition. Au changement de lots de minerais dans la ligne de la fabrication d'acide phosphorique, ces différences peuvent nécessiter, des ajustements coûteux du processus de production d'acide, difficiles à quantifier. Dans ces conditions, il

est souhaitable de stabiliser la composition des lots expédiés à MP2, en cherchant à minimiser un indicateur de déviance de la composition des lots produits par MP1, autour de valeurs-cibles pour leurs compositions. Il s'agit là d'un indicateur d'efficacité pour MP2 que MP1 peut intégrer dans la recherche de sa solution de blending. Deux approches sont alors possibles.

- Le *goal programming* a été imaginé dans les années soixante-dix pour traiter ce problème de recherche d'une double optimisation, en proposant de privilégier l'un des objectifs (celui du coût, par exemple) et d'introduire le second sous la forme d'une contrainte minimale de niveau. Cette approche a pour inconvénient de ne pas toujours permettre de trouver une solution si la contrainte minimale de niveau est forte. Par ailleurs, l'introduction de telles contraintes rigidifient les relations client-fournisseur entre certaines entités de la CL, sans permettre une amélioration de l'efficacité globale de la CL.
- Dans ce contexte, on peut utiliser une fonction-objectif constituée de la somme de la fonction-objectif de coût (qui correspond à une réalité économique) et du produit de l'indicateur de déviance par une pénalité. Ce faisant, on est assuré de trouver une solution, s'il en existe une, en l'absence de prise en compte de la déviance. En faisant varier progressivement cette pénalité, la déviance diminue pour atteindre une limite déterminée par les disponibilités de minerais extraits. On peut alors établir un graphe représentant le couple « déviance- coût de production », ce qui permet d'établir l'accroissement de coût pour MP1 imputable à une réduction de déviance pour MP2. Ces informations constituent une base possible de négociation de contraintes entre MP1 et MP2, et permettre d'améliorer la performance consolidée de MP1 et MP2. Dans cette perspective, la signification de la pénalité et de son niveau n'a pas grande importance. Une telle approche, testée sur la CL de l'OCP (Azzamouri et al., 2020) (Bamoumen et al., 2020), est facilement transposable dans d'autres contextes de CL.

6 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons cherché à montrer l'intérêt mais aussi les limites de l'usage des pénalités dans les mo-

dèles décisionnels. Le cadre conceptuel proposé est améliorable mais il permet de donner quelques pistes sur les précautions méthodologiques à respecter lors de la création de modèles utilisant des pénalités mais aussi dans l'utilisation de tels modèles.

REFERENCES

- Azzamour A., M. Bamoumen, H. Hilali, V. Hovelaque, V. Giard, 2020. Flexibility of dynamic blending with alternative routings combined with security stocks: a new approach in a mining supply chain, *International Journal of Production Research*, DOI: [10.1080/00207543.2020.1814443](https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1814443)
- Bamoumen M., V. Hovelaque, V. Giard. Un modèle de blending pour la planification dynamique d'une chaîne logistique minière, MOSIM 2020.
- Bara N., F. Gautier, and V. Giard, 2019. An economic evaluation of operational decisions – an application in scheduling evaluation in fertilizer, *Production Planning & Control*. DOI:[10.1080/09537287.2020.1751891](https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1751891)
- Bouzekri H., G. Alpan, and V. Giard, 2019. Modélisation des problèmes de l'allocation des planches et des postes à quais, *CIGI QUALITA 2019*, Juin 2019, Montréal, Canada. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02277658v1>
- Bouzekri H., G. Alpan, and V. Giard, 2019. Integrated Laycan and Berth Allocation Problem. *IESM 2019*, septembre 2019, Shanghai. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02342441v1>
- Giard V. 2003. *Gestion de la production et des flux* (3^e édition), Economica. ISBN 978-2-7178-4498-6.
- Giard, V. 2017. Methodological Problems in Defining Costs Used in Industrial Management Decision Models 7th IESM Conference, Saarbrücken, Germany, Octobre 2017. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01708054>
- Naddor E., *Inventory Systems*, John Wiley & Sons, 1966. ISBN: 978-0471628309
- Sali M. and V. Giard, 2015. Optimal stock-out risk when demand is driven by several mixed-model assembly lines in the presence of emergency supply, *International Journal of Production Research*, vol. 53, n°11, p. 3448-3461. DOI:[10.1080/00207543.2014.997398](https://doi.org/10.1080/00207543.2014.997398)