



Contract design and coordination in supply chain for a perishable product

Michel Nakhla

► **To cite this version:**

Michel Nakhla. Contract design and coordination in supply chain for a perishable product. 2013. hal-00954322

HAL Id: hal-00954322

<https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00954322>

Preprint submitted on 1 Mar 2014

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.

Contract design and coordination in supply chain for a perishable product

Michel Nakhla¹ Professor Center for Management Science (CGS)- Ecole des mines ParisTech, 60 bd Saint Michel 75272 Paris Cedex 06, France

ABSTRACT

L'objectif de cet article est d'analyser les modes d'organisation de la supply chain des produits périssables² afin de proposer de nouvelles formes de contrats entre producteurs et traders.

La supply chain de produits agricoles « fruit and vegetable » se caractérise par des aléas sur la régularité des quantités mises sur le marché, la rigidité des capacités de production et des commandes tardives de la part des traders. Ces caractéristiques aboutissent à des situations de rupture de produits mis sur le marché ou à du surstockage, coûteuses à la fois pour the Producer (farmer) et pour the trader. L'article explore des solutions nouvelles pour réduire ces inefficacités en analysant l'impact du partage de l'information sur le coût global dans la supply chain.

La conception de nouveaux contrats, proposés par cet article, permettent d'augmenter la valeur globale créée en incitant le producteur agricole à une meilleure régularité dans les volumes livrés et à une réduction de l'asymétrie d'information sur les capacités de production disponibles. Ces différents résultats sont testés sur la cas du marché de la pomme de terre de conservation en France.

1. Introduction

Les modalités qui règlent les relations entre producteurs agricoles et traders varient selon les secteurs. Dans certains secteurs il n'existe pas de mécanismes institutionnels de régulation des marchés (du type prix indicatifs ou quotas sur les volumes), l'évolution du marché est alors libre, résultant uniquement des comportements des acheteurs et des vendeurs. C'est le cas dans le secteur des fruits et légumes en France. Les échanges sont effectués «au jour le jour sur le marché », produit par produit, et guidés essentiellement par la recherche du meilleur prix. Selon les années et les anticipations des différents acteurs, les mécanismes d'ajustement annuels conduisent à l'alternance de situations de pénuries et d'excédents qui donnent lieu au développement de comportements opportunistes et de «spéculation ». Ces comportements sont souvent amplifiés par l'arrivée de nouveaux producteurs sur le marché ou leur départ en fonction de l'opportunité de gain, très souvent avec une méconnaissance des coûts d'entrée sur le marché et de ses règles.

Dans ce secteur également the producers sont souvent amenés à faire leurs choix de production très tôt par rapport à la commercialisation effective des produits compte tenu de la longueur et de la rigidité des cycles de production agricoles. Mais, dans le secteur des légumes, ils sont amenés aussi, après la production, à optimiser des arbitrages en ce qui concerne les volumes à livrer à certains traders en fonction du prix du marché. Ce comportement est motivé principalement chez eux par les pratiques les traders en aval qui les

¹ E-mail address : michel.nakhla@ensmp.fr. Tel : +33 140519347

² The term perishable products designate features involving a long production lead time, short sales cycle, low final value and uncertain demand.

mettent souvent en concurrence en cherchant à tirer les prix vers le bas. Les traders cherchent quant à eux à retarder au maximum les commandes de manière à pouvoir s'ajuster le plus finement possible aux fluctuations de la demande (quantité et fraîcheur) en faisant reporter les risques de rupture, de surstocks et les coûts qui leur sont associés sur les agriculteurs. Ces tensions entre l'amont et l'aval sont très coûteuses au sein de la supply chain (mises en culture de volumes inférieurs ou supérieurs à la demande du marché, rupture de livraison, surstockage). Certains de ces phénomènes ont été analysés dans l'approvisionnement en légumes d'une entreprise de transformation (Soler, Tanguy, Valceschini, 1995), dans le secteur du vin (Soler, Tanguy, 1998) ou dans d'autres situations industrielles (Andersson, 1995, Frank et Henderson, 1992).

Ce n'est que depuis quelques années que l'on observe, dans ce secteur, une amplification des transactions basées sur des accords plus ou moins formalisés s'inscrivant dans la durée, poussés notamment par les exigences de l'aval : des engagements collectifs par l'adhésion à une coopérative, des offres d'achat anticipé signées en cours de campagne, des contrats signés avant la mise en culture sur la base d'un cahier des charges. Ces derniers³ sont favorisés par la recherche, de la part des traders, d'une régularité des volumes échangés, d'une constance dans la qualité des produits, et, de la part des producteurs agricoles de la volonté d'un certain lissage des prix. Ces accords peuvent prendre, avec le prolongement de la relation, des formes plus élaborées.

Ce papier traitera des deux points de vue (producer et trader) au sein d'une même supply chain. Pour tenir compte des spécificités du secteur étudié, nous considérons une supply chain avec des commandes tardives de la part des traders et des aléas sur la quantité produite dus au niveau des capacités de production engagées, caractérisées par des cycles de culture longs et irréversibles sur une saison agricole.

Le but du papier est d'étudier les principales solutions qui permettent de réduire les inefficacités liées à des situations de rupture de produit ou de surstockage, coûteuses à la fois pour le producer et pour le trader. Dans cette perspective, nous examinerons successivement l'impact du partage de l'information sur les profits respectifs, la mise en place de contrats pour inciter à une meilleure régularité dans les volumes mis sur le marché.

2. Literature review

Dans la littérature qui s'intéresse aux chaînes d'approvisionnement, de nombreux travaux ont montré l'intérêt d'une plus grande coordination au sein des supply chain (production et de commercialisation) pour réduire les stocks, maîtriser les délais d'approvisionnement et livrer les quantités demandées :

- Des travaux de statistiques descriptives qui visent à étudier les bénéfices liés à une maîtrise du flux d'informations et à son partage au sein des différents niveaux de la supply chain. Chen, (1998) a simulé des stratégies de stockage basées sur les méthodes de « point de commandes » et les coûts qui leur sont associés. Il a observé que le partage d'informations concernant la gestion des stocks permet de réduire d'environ 9% ces coûts. De plus, il met en évidence une décroissance des bénéfices au niveau de la chaîne avec une croissance de la variance avec les niveaux de la supply chain. D'autres développements, ont étudié ces impacts

³ Ces contrats précisent la fréquence de livraison et les conditions de stockage, le prix et les conditions de primes et de ristournes.

en analysant des scénarios avec plusieurs vendors ou plusieurs buyers (Cachon et Fisher, 1996 ; Gavernini, 2001 ; Gal-Or, 1991a et 1991b ; Clark et Scarf, 1960)

- Des travaux qui envisagent la supply chain du point de vue d'un décideur unique et déterminent les décisions qui minimisent le coût global. Dans ces approches, la supply chain est considérée comme une structure verticalement intégrée et où toute l'information est partagée et l'approvisionnement du produit est contrôlé par le producteur (voir par exemple Cohen et Moon, 1991 ; Hennessy, 1996).

- Des travaux qui considèrent la supply chain comme un réseau avec plusieurs niveaux ramenée généralement à une relation entre un trader et un producteur échangeant un produit. Dans ce schéma, le producteur supportant un coût de production c , vend le produit au trader au prix p , lequel peut être un paramètre exogène ou une variable de décision pour l'un ou l'autre des opérateurs. Le trader est confronté, sur le marché final, à une demande D , (aléatoire ou non) et pouvant également dépendre ou non du prix sur le marché. Les différents travaux se focalisent sur le calcul de la quantité optimale Q de commande pour le trader lui permettant de minimiser son coût (ou maximiser son profit). On peut se reporter à Gaucher (2002), Vidal, Goetschalcks (1997) et Monahan (1984) pour une revue de littérature complète sur ces questions.

Cette dernière catégorie de travaux, a donné lieu à plusieurs contributions. Dans ce cadre, Monahan, 1984 a exploré, dans un contexte de demande déterministe et inélastique, l'effet des remises de prix sur les commandes trader et sur le profit du producteur. Il a mis en évidence une croissance du profit du producteur offrant davantage de remises. Dans le prolongement de ces travaux, Banerjee, 1986 et Corbett de Groot, 1997 montrent que ces politiques de remises sont bénéfiques du point de vue global de la supply chain. Depuis, plusieurs autres auteurs ont discuté ces résultats en combinant remise sur quantité et politique contractuelle (supply contracts).

Se plaçant dans le cas où le trader doit supporter tout l'aléa lié aux fluctuations de la demande, un certain nombre de travaux ont étudié l'intérêt d'un approvisionnement avec deux producteurs. Ainsi, Janssen et Kok (1999) proposent une formalisation dans laquelle le trader à un accord avec l'un des deux producteurs pour la livraison d'une quantité fixe Q par période, le deuxième producteur n'intervenant qu'en cas de baisse du stock en dessous d'un certain seuil. Ces modèles supposent implicitement une parfaite substitution entre les produits livrés par les deux producteurs. Gaucher, Hovelaque et Soler (2000) proposent une analyse des politiques de commande et de stockage entre deux entreprises, chacune disposant de son propre producteur et de son propre débouché, mais pouvant éventuellement agir comme un second producteur pour l'autre. Ils étudient ainsi l'intérêt des démarches de regroupement de l'offre.

D'autres auteurs comme Lau et Lau (1996) se placent dans un contexte multi-produits et introduisent une contrainte de capacité chez le producteur. Anupindi et Akella (1993) prolongent ces travaux en introduisant une incertitude sur l'offre du producteur. La plupart de ces travaux supposent généralement un producteur passif qui se contente de livrer la quantité optimale définie par le trader.

Dans ces travaux, l'accroissement de l'information et de son impact sur les politiques de commande entre un trader et son producteur a été également étudié. Parmi ces travaux, nous pouvons citer les analyses de Ferguson (2000) sur l'arbitrage entre engagement et partage des

risques associé aux incertitudes de demande. Fergusson a mis l'accent sur la date d'engagement du trader en introduisant une contrainte obligeant le producteur à faire ces choix de production au début du processus de négociation et à donner plus d'information sur ses capacités. Gaucher, 2002 a proposé une modélisation de la relation entre les producteurs agricoles et leurs traders en aval des filières focalisée sur des stratégies de relèvement de la qualité des produits et a testé différents dispositifs contractuels susceptibles de les favoriser.

Zimmer (2002) se situe d'emblée dans les contextes exposés plus haut étudie la coordination au sein d'une supply chain avec des commandes en juste à temps entre un producteur et un trader. L'auteur se place dans un cas où le producteur détermine tardivement sa capacité de production et étudie l'impact d'un partage d'information sur le coût de l'ensemble de la supply chain. Des modalités contractuelles sont également étudiées pour restaurer l'efficacité d'une supply chain.

Ces derniers travaux nous semblent particulièrement intéressants au regard de notre problématique. Nous nous appuyons particulièrement sur les travaux de Zimmer et aussi sur ceux de Lau et Lau et de Jenssen en reprenant une partie de leur modélisation dans un schéma avec un trader et deux producteurs. Notre papier diffère cela dit de ces travaux en supposant qu'il existe un accord entre les producteurs pour la livraison de commandes supplémentaires d'un produit spécifique dont les caractéristiques sont fixées par un cahier des charges). Le respect de ce cahier des charges nécessite des investissements particuliers qui contraignent certains producteurs à passer par l'intermédiaire d'autres producteurs ayant effectué ces investissements pour l'accès au marché. Nous considérons également que les producteurs peuvent mobiliser des comportements stratégiques vis-à-vis de l'organisation de la supply chain en privilégiant, selon les cas, partage ou non des informations. Les modalités contractuelles envisagées s'appuient sur les travaux de Zimmer avec la possibilité d'un engagement multipériodique.

L'objectif de cet article est d'étudier ces difficultés et d'analyser l'efficacité de démarches contractuelles entre producteur et trader en vue d'une production orientée vers une qualité donnée et sur la base de quantité « efficace ».

Le papier est organisé comme suit. Dans la section suivante nous présentons les hypothèses du modèle utilisé et les fonctions de coût et de profit du producteur et du trader. Dans la section 3 nous abordons l'impact du partage d'information sur le coût au nouveau de la supply chain. La section 4 discutera de l'intérêt des contrats d'approvisionnement dans l'efficacité de l'ensemble de la chaîne. Dans la section 5 nous discutons l'ensemble de ces résultats dans le cadre du secteur de la pomme de terre de conservation.

2. Modélisation et problèmes de coordination dans les chaînes d'approvisionnement

2.1 Le problème

Nous proposons d'étudier les relations entre un producteur de matière première (farmer) et une entreprise (grande distribution ou trader) (voir figure 1). L'entreprise « le trader ou acheteur » doit faire face à une demande D d'un produit fini qu'elle doit préparer et conditionner en utilisant un produit de base commandé dans une quantité q au producteur de matière première. Ce produit de base doit être de qualité haute pour permettre la commercialisation du produit fini. Chaque unité de bien commandée permet la commercialisation d'une unité de produit fini. Nous supposons que le producteur dispose

d'une capacité de production Q . Il consacre cette capacité à la production d'un produit de qualité haute et à la production de produits de qualité standard car il est inséré dans un réseau d'approvisionnement où il doit traiter diverses demandes dont celles d'autres traders (marché en vrac, exportation, traders).

En partant des modèles proposés par Zimmer (2002) et Janssen et Kok (1999), nous considérons qu'il y'a une incertitude sur l'approvisionnement, lorsque l'entreprise passe sa commande au producteur, elle peut n'être satisfaite que partiellement. En effet le producteur n'est en mesure de satisfaire la demande que pour une certaine proportion α de sa capacité de production. Il produira αQ (avec $\alpha \in [0,1]$). Ainsi, au moment de la commande, la valeur de α n'est pas connue par le producteur (soit il attend d'autres commandes ou soit une partie de sa production risque de ne pas répondre au cahier des charges « qualité haute ») Mais on peut supposer qu'il est capable d'estimer sa densité de probabilité $f(\alpha)$.

Pour couvrir la demande du trader, le producteur peut faire appel à un autre producteur pour un éventuel complément en appelant une capacité supplémentaire Q_s . Cette possibilité d'approvisionnement est rendue possible par l'existence d'un accord entre le producteur et d'autres producteurs, l'échange peut être ponctuel et ne survient que lorsque le producteur est en rupture. Elle peut également correspondre au cas où le producteur joue un rôle de commercialisation, en plus de son activité, pour d'autres producteurs. Cette logique est dictée par le processus de transformation (voir encadré) :

Le processus de transformation de la matière première est le suivant :

F1 : le producteur F1 dispose d'installations de lavage et de stockage spécifiques pour traiter la matière première. Ces installations sont coûteuses en termes d'investissement. Ces opérations sont nécessaires pour respecter le cahier des charges imposé par le trader (qualité haute correspondant à une pomme de terre lavée).

F2 : le producteur F2 se positionne comme producteur exclusif de F1. Ce choix est lié au fait qu'il ne dispose pas d'équipements pour traiter sa matière première, coûteux par rapport au volume produit. S'il décide, cependant, de commercialiser directement sa production sur le marché, il ne peut viser que le marché en vrac de qualité standard à un prix plus bas. Le Trader : acheteur pour la grande distribution ou trader. Sa tâche consiste à conditionner le produit sous une forme d'unités commercialisables sur le marché.

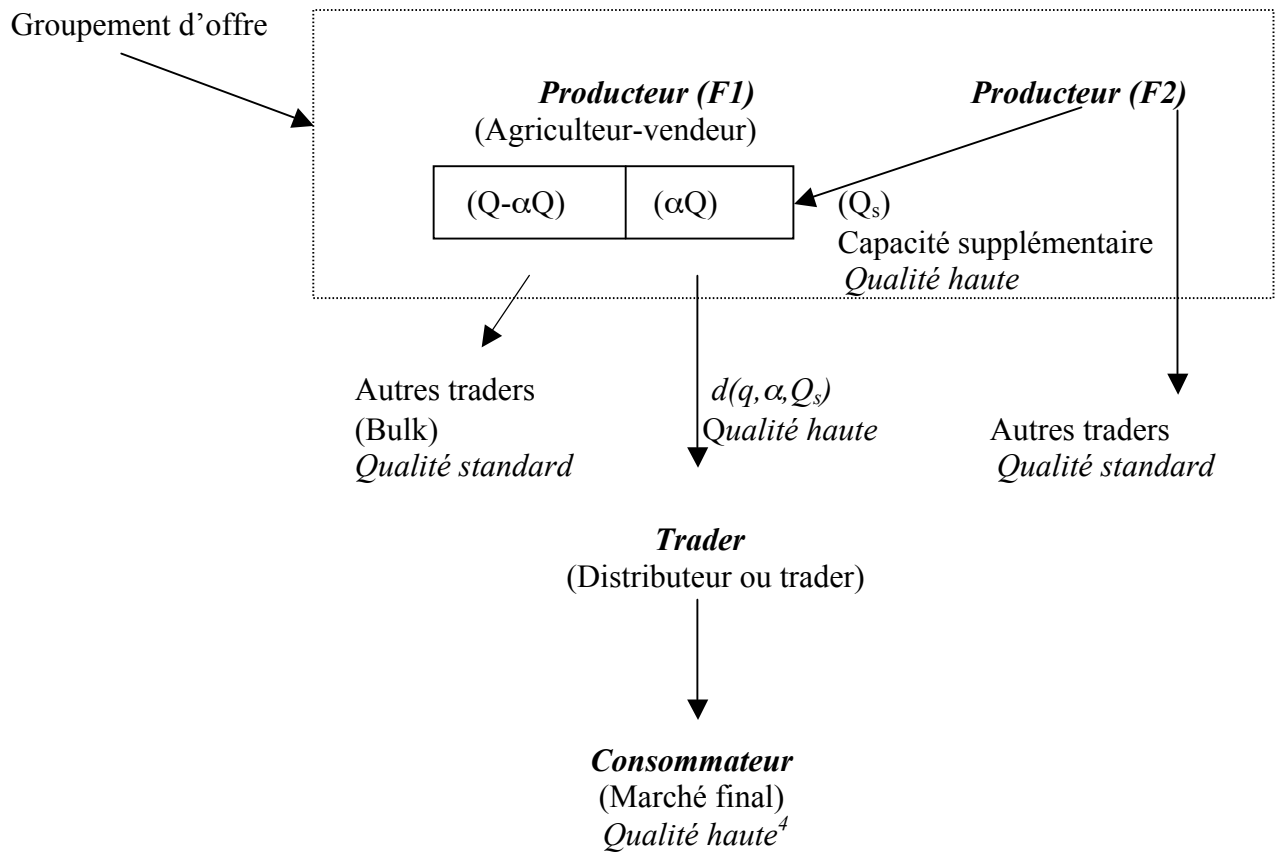


Fig. 1. Relations étudiées

La quantité réellement livrée d dépend donc de la capacité disponible αQ , la capacité supplémentaire Q_s , et la commande q .

2.2 Hypothèses du modèle

Comme Janssen, Kok et Zimmer nous supposons que la quantité livrée est contrainte par la capacité globale mobilisée par producteur. Le producteur ne peut pas livrer une quantité supérieure à la quantité demandée ou à sa capacité globale :

$$d = \min \{ \alpha Q + Q_s, q \} \quad (1)$$

L'acheteur est confronté dans cette organisation à un approvisionnement aléatoire $\alpha Q + Q_s$ compte tenu des commandes tardives passées suivant une loi uniforme de moyenne et d'écart-type (μ, δ) définie par une fonction de densité de la forme suivante :

$$f(\alpha) = \frac{1}{2\delta\mu} \text{ si } (1-\delta)\mu \leq \alpha \leq (1+\delta)\mu ; 0 \text{ Sinon}$$

et qui signifie que la capacité disponible du producteur varie entre $(1-\delta)\mu Q$ et $(1+\delta)\mu Q$

Les transactions dans la supply chain et la séquence des décisions pour les différentes périodes sont les suivantes (voir figure 2) :

⁴ Ce terme est utilisé par Gaucher, Soler et Tanguy (2002) dans le domaine du vin. Il correspond pour nous ici, comme on le verra plus loin, à une pomme de terre de qualité lavable.

Au début de période, le trader anticipe une demande globale D , passe ensuite commande q au producteur.

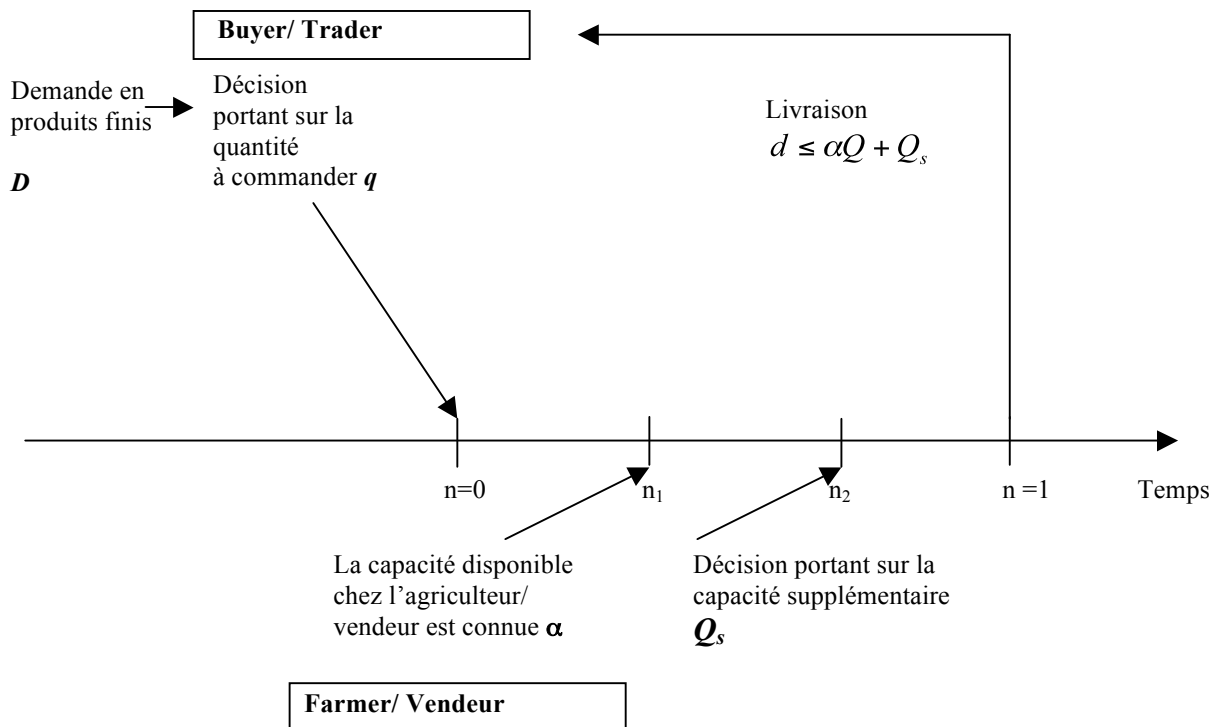


Fig. 2. Transactions dans la supply chain

Le problème du trader (distributeur/trader) est de déterminer la quantité optimale à commander minimisant son coût global. En plus du coût d’approvisionnement pd où p représente le coût d’approvisionnement d’une unité de produit, il encourt deux autres coûts qui surviennent lorsque la quantité livrée est différente de la demande. Le premier correspond au coût de rupture qui correspond au manque à gagner consécutif à une vente ratée. Le second correspond à un coût de possession associé au stock des invendus en fin de période. Ces coûts sont supposés unitaires, exogènes et fixes, nous les noterons C_r et C_p .

Si $D \geq d$, le coût global pour le trader est :

$$C^c = C_r(D - d) + pd \tag{2}$$

Si $D < d$, le coût global pour le trader est

$$C^c = C_p(d - D) + pd \tag{3}$$

The notations for the proposed mathematical model are as follows :

C^c	Coût total pour le producteur
C_p	Coût de possession par unité de produit fini
D	Demande de produit fini
d	Quantité livrée
C_r	Coût de rupture par unité de produit fini
p	Coût d'approvisionnement par unité de produit
ΠC_q^S	Profit du producteur
p	Prix de vente par unité de produit au trader (Coût d'approvisionnement pour le trader)
C	Capacité totale du producteur
α	Variable aléatoire affectant la réalisation de la capacité normale
Q_s	Capacité supplémentaire approvisionnée auprès d'un autre producteur du groupement d'offre
q	Quantité commandée
C_h	Coût de possession (stockage) par unité de produit relatif à la capacité supplémentaire
w	Coût d'acquisition par unité de produit de la capacité supplémentaire (coût de production + coût logistique)
c	Coût de production pour le producteur

Le trader doit donc minimiser son coût moyen sur la période considérée pour une quantité livrée d , lequel s'écrit :

$$E(C^c) = C_r \int_0^{\min\{A,B\}} (D - (\alpha Q + Q_s)) f(\alpha) d\alpha + C_r (D - q) \int_A^1 f(\alpha) d\alpha +$$

$$C_p \int_B^A (\alpha Q + Q_s - D) f(\alpha) d\alpha + C_p (q - D) \int_A^1 f(\alpha) d\alpha + p \int_0^A (\alpha Q + Q_s) f(\alpha) d\alpha + pq \int_A^1 f(\alpha) d\alpha$$

(4)

avec

$$A = \frac{(q - D)}{Q}, B = \frac{(D - Q_s)}{Q}$$

$$\frac{(D - Q_s)}{Q} \leq \alpha \leq \frac{(q - D)}{Q} \Leftrightarrow D \leq \alpha Q + Q_s \leq q$$

et où

Le problème du producteur (producteur Vendeur) est :

$$\Pi_q^S = p \min\{\alpha Q + Q_s, q\} - C_h \{\alpha Q + Q_s - q\} - wQ - c\alpha Q$$

(5)

$$E(\Pi^F) = p \int_0^A (\alpha Q + Q_s) f(\alpha) d\alpha + p q \int_A^1 f(\alpha) d\alpha - C_h \int_A^1 (\alpha Q + Q_s - q) f(\alpha) d\alpha - w Q_s - c \alpha Q \quad (6)$$

Connaissant la fonction de densité $f(\alpha)$, le producteur doit donc maximiser son profit moyen sur la période considérée, lequel s'écrit :

Proposition 1 : La fonction de profit est supposée concave en q , elle est maximisée pour :

$$Q_s^* = \operatorname{argmax} E(\Pi^F(Q_s)), Q_s \in [0, q] \quad (7)$$

3. Présentation et comparaison des modes de coordination dans la supply chain étudiée

Nous allons étudier deux modes de coordination : un mode de coordination intégré et un mode de coordination décentralisé en comparant les coûts globaux au niveau de l'ensemble de la supply chain.

3.1 Coordination entre producteur et trader dans une situation intégrée (Scénario 1 de First Best)

Du point de vue de la gestion globale de la supply chain, on peut d'abord chercher à déterminer la capacité supplémentaire $Q_{s/I}^*$ qui minimise l'espérance du coût total sur l'ensemble de la supply chain faisant intervenir simultanément les coûts du producteur et du trader. Ce coût total est donné par l'expression suivante :

$$C_I = C_r(D - (\alpha Q + Q_s)) + \left(\frac{C_p + C_h}{2}\right)(\alpha Q + Q_s - D) + w Q_s + c \alpha Q \quad (8)$$

Ce coût comprend le coût de rupture lié à une vente ratée, le coût de possession du stock, le coût d'acquisition de la capacité supplémentaire et le coût de production.

L'espérance du coût total est donnée par l'expression suivante :

$$E(C_I) = C_r \int_0^{(D-Q_s)/C} (D - (\alpha Q + Q_s)) f(\alpha) d\alpha + \frac{(C_p + C_h)}{2} \int_{(D-Q_s)/C}^1 (\alpha Q + Q_s - D) f(\alpha) d\alpha + w Q_s + c \alpha Q \quad (9)$$

Dans une situation intégrée où l'information concernant la demande D est connaissance commune pour le producteur et l'acheteur, il n'est pas nécessaire de spécifier très tôt la quantité à commander. Par conséquent la décision du point de vue de la gestion de la chaîne porte uniquement sur le calcul de la capacité supplémentaire à acquérir $Q_{s/I}^*$

Proposition 2 : La fonction de coût est supposée concave, elle est maximisée pour :

$$Q_{s/I}^* = \operatorname{argmax} E(C_I), Q_s \in [0, D] \quad (10)$$

La résolution de ce problème revient à la résolution d'un problème de gestion des stocks dans un univers aléatoire. Dans ce cas, la solution optimale $Q_{s/I}^*$ peut être calculée par la résolution de l'équation suivante :

$$1 - F\left(\frac{D - Q_{s/I}^*}{Q}\right) = \frac{C_r - w}{C_r + \frac{(C_p + C_h)}{2}} \quad (11)$$

On peut noter que le terme gauche de l'équation correspond à la probabilité d'égaliser la demande. C'est-à-dire :

$$1 - F\left(\frac{D - Q_{s/I}^*}{Q}\right) = P(\alpha \geq \frac{D - Q_{s/I}^*}{Q}) = P(\alpha Q + Q_{s/I}^* \geq D)$$

En faisant intervenir la fonction de probabilité $f(\alpha)$, qui rappelle le suit une loi uniforme de moyenne et d'écart-type.

On peut alors déduire :

$$1 - F\left(\frac{D - Q_{s/I}^*}{Q}\right) = \int_{(D - Q_{s/I}^*)/Q}^{(1+\delta)\mu} \frac{1}{2\delta\mu} d\alpha = \frac{Q_{s/I}^* - D + Q(1 + \delta)\mu}{2Q\delta\mu} \quad (12)$$

En remplaçant le terme gauche de l'équation (Y) par sa valeur et en la simplifiant, on obtient alors la capacité optimale supplémentaire du producteur dans une situation intégrée laquelle, égale à :

$$Q_{s/I}^* = D - Q \frac{((1 + \delta)\mu(C_r + \frac{(C_p + C_h)}{2})) + 2(C_r + w)\delta\mu}{\frac{(C_p + C_h)}{2} + C_r} \quad (13)$$

3.2 Coordination entre producteur et trader dans une situation décentralisée

Dans une situation décentralisée, l'acheteur n'a aucune information concernant les décisions du producteur, il cherchera alors à commander une quantité égale à la demande D . c'est-à-dire :

$$q_{NI}^* = D \quad (14)$$

A partir de cette commande q le producteur va de son côté déterminer la capacité supplémentaire optimale $Q_{s/NI}^*$ qui permet de maximiser l'espérance de son profit global.

Proposition 3 : La fonction de profit est supposée concave en q , elle est maximisée pour :

$$Q_{s/NI}^* = \arg \max E(\Pi^S(Q_s)), Q_s \in [0, D]$$

(15)

La résolution de ce problème revient, comme dans le cas intégré, à la résolution d'un problème de gestion des stocks dans un univers stochastique. Dans ce cas, la solution optimale $Q_{s/NI}^*$ peut être calculée par la résolution de l'équation suivante :

$$1 - F\left(\frac{q - Q_{s/NI}^*}{Q}\right) = \frac{p - w}{p + C_h} \quad (16)$$

On peut noter que le terme gauche de l'équation correspond à la probabilité d'égaliser la commande avec la capacité globale disponible.

$$1 - F\left(\frac{q - Q_{s/NI}^*}{Q}\right) = P(\alpha \geq \frac{q - Q_{s/NI}^*}{Q}) = P(\alpha Q + Q_{s/NI}^* \geq q)$$

Le producteur choisira alors la valeur de la capacité supplémentaire qui permet d'avoir une probabilité d'atteindre la commande égale à $(p-w)/p+C_h$. En faisant intervenir la fonction de probabilité $f(\alpha)$, On peut alors déduire :

$$1 - F\left(\frac{D - Q_{s/NI}^*}{Q}\right) = \int_{(D-Q_{s/NI}^*/C)}^{(1+\delta)\mu} \frac{1}{2\delta\mu} d\alpha = \frac{Q_{s/NI}^* - D + Q(1 + \delta)\mu}{2Q\delta\mu} \quad (17)$$

En remplaçant le terme gauche de l'équation (X) et en la simplifiant, on obtient alors la capacité optimale supplémentaire du producteur dans une situation décentralisée laquelle égale à :

$$Q_{s/NI}^* = D - Q \frac{((p + C_h)(1 + \delta)\mu + 2(p - w)\delta\mu)}{C_h + p} \quad (18)$$

On peut remarquer que si l'on suppose, d'une part, une égalité entre le coût de rupture C_r et le coût d'approvisionnement d'une capacité supplémentaire p et d'autre part des coûts de possessions égaux (C_p et C_h), alors, la situation décentralisée est identique à la situation intégrée.

3.3 Comparaison des différents modes de coordination

Pour comparer les deux situations « décentralisée et intégrée » nous allons nous intéresser aux probabilités d'atteindre la demande dans les eux cas. Ceci revient à nous intéresser aux équations (11) et (16).

Si l'on admet d'une part que le coût de rupture C_r lié au produit fini (qui se rapprocherait plus du prix de vente sur le marché final) est supérieur au coût d'approvisionnement de la matière première et d'autre part que les coûts de possession de la matière première initialement disponible et celle approvisionnée sous forme de capacité supplémentaire sont identiques (si cette dernière ne nécessite par de moyens de stockage supplémentaire) on peut poser :

$$\frac{C_r - w}{C_r + \frac{(C_p + C_h)}{2}} > \frac{p - w}{p + C_h}$$

(19)

Cela signifie que la probabilité de satisfaire la demande dans une situation décentralisée est inférieure à une situation intégrée. Autrement dit, la situation décentralisée présente un coût global plus élevé pour l'ensemble de la supply chain.

Par ailleurs, nous avons supposé dans le modèle l'existence d'une source d'approvisionnement supplémentaire, ce qui correspond à des formes d'organisation que l'on rencontre dans la commercialisation de certains produits agro-alimentaire où certains producteurs peuvent se regrouper pour assurer des complémentarités d'offre sur certains marchés ou bien certains servent de maillons commerciaux à d'autres vis-à-vis de l'aval de la filière. Mais que se passe-t-il si cet approvisionnement ne peut plus être assuré ? Pour discuter ce cas de figure, faisons-le en différenciant la situation intégrée (scénario1) et la situation décentralisée (scénario2).

Dans la situation intégrée, ce cas revient à introduire un aléa sur l'approvisionnement supplémentaire, ce qui peut se ramener au cas de la situation décentralisée étudiée plus haut.

On obtient donc un troisième scénario : une unité intégrée avec approvisionnement externe soumis à des aléas, si celui-ci peut être garanti avec une troisième source d'approvisionnement supplémentaire, alors scénario 3 = scénario 2, sinon le scénario 3 < scénario 2.

Dans la situation décentralisée, ce cas se ramène à un modèle de stock avec deux producteurs (voir Janssen et Kok, 1999). On obtient donc un quatrième scénario avec un double aléa sur les sources d'approvisionnement. L'intérêt de ce scénario pour les chaînes d'approvisionnement telles que étudiées ici est faible car il suppose que le trader puisse trouver sur le marché « spot » exactement le produit correspondant au cahier des charges consommateur. Ce constat diminue l'intérêt de ce scénario si l'on considère en plus que les produits élaborés sont spécifiquement destinés à un marché particulier « qualité haute » et supposent des investissements lourds pour les produire.

Les quatre scénarios peuvent être alors hiérarchisés $S1 > S2 \geq S3 > S4$

On peut également envisager le cas où le producteur, supposé dans le modèle producteur et vendeur, n'assure que la vente en s'approvisionnant lui-même auprès d'autres producteurs, il ne joue en final qu'un rôle de trader. Les résultats proposés plus haut se déclinent aisément sur cette situation :

	Quantité optimale en situation intégrée
Producteur = producteur-vendeur	$Q_{s/NI}^* = D - Q \frac{((p + C_h)(1 + \delta)\mu + 2(p - w)\delta\mu)}{C_h + p}$
Producteur = vendeur (trader)	$Q_{s/NI}^* = D$

	Quantité optimale en situation décentralisée
Farmer = producer	$Q_{s/l}^* = D - Q \frac{((1 + \delta)\mu(C_r + \frac{(C_p + C_h)}{2}) + 2(C_r + w)\delta\mu)}{\frac{(C_p + C_h)}{2} + C_r}$
Farmer = producer and trader	$Q_{s/l}^* = D$

5. Coordination et incitation

Dans la section précédente nous avons montré que dans une situation décentralisée le coût total pour la supply chain est supérieure à une situation intégrée, nous allons examiner maintenant dans quelle mesure la mise en place de contrats incitatifs pourrait aider à restaurer l'efficacité du cas décentralisé.

5.1 L'impact d'une pénalité sur la stratégie du producteur

Par faire face aux comportements stratégiques du producteur dans une situation d'asymétrie d'information⁵. Considérons le contrat suivant, et étudions comment, à partir de là, un système d'incitation simple permet de retrouver la quantité d'échange efficace :

- Le trader s'engage à commander au moins une quantité q d'un produit d'une qualité définie à l'avance sur plusieurs périodes. Il garantit au producteur un prix contrat p_c sur la quantité livrée. Nous prenons la structure classique de contrats observés dans le secteur de la pomme de terre (50% de la quantité commandée au prix contrat P_c défini *ex ante* et 50% au prix p au moment de la commande, ce dernier prix⁶ est défini en fonction du marché).
- Le producteur, garantit *ex ante* la livraison d'au moins q . Cette quantité livrée dépend donc de sa capacité disponible et de la commande. Le producteur peut agir sur le paramètre α , et la capacité supplémentaire Q_s mobilisable en cas de besoin.
- Le contrat prévoit une fonction d'incitation (fonction de l'écart entre commande et livraison), celle-ci est négociée entre producteur et le trader. L'idée étant d'inciter le producteur à orienter une bonne partie de sa production vers la qualité haute.

Notons R^- la pénalité par unité de produit manquant. Dans ce cas la fonction incitative est donnée par l'expression suivante :

$$\chi = -R^-(q - d) = -R^-(q - (\alpha Q + Q_s)) \quad (20)$$

⁵ Celui-ci cherche à maximiser son profit en anticipant la stratégie de commande du trader et non pas l'évolution du marché final et qui le conduit mettre sur le marché une quantité inférieure à la quantité de « first best » (voir Tsay, 1999). Ce comportement s'explique également par le phénomène de double marginalisation dans les filières agro-alimentaire (Voir Giraud-Héraud, Soler, Tanguy, 1999).

⁶ Selon la demande, ce prix peut être supérieur ou inférieur au prix-contrat.

L'espérance du profit du producteur, sur une période, est donnée par :

$$\begin{aligned}
E(\Pi^F(R^-)) &= \frac{1}{2}(p_c + p) \int_0^A (\alpha Q + Q_s) f(\alpha) d\alpha + \frac{1}{2}(p_c + p) q \int_A^1 f(\alpha) d\alpha - C_h \int_A^1 (\alpha Q + Q_s - q) f(\alpha) d\alpha \\
&\quad - wQ_s - c\alpha Q - R^- \int_0^A (q - (\alpha Q + Q_s)) f(\alpha) d\alpha \\
&= \frac{1}{2}(p_c + p) q - \left(\frac{1}{2}(p_c + p) - R^- \right) \int_0^A (q - (\alpha Q + Q_s)) f(\alpha) d\alpha - C_h \int_A^1 (\alpha Q + Q_s - q) f(\alpha) d\alpha - wQ_s - c\alpha Q
\end{aligned} \tag{21}$$

En résolvant cette équation (voir Newsboy problem), on peut calculer la quantité optimale supplémentaire $Q_s^*(R^-)$ en fonction de R^- :

$$1 - F \frac{(q - Q_s^*(R^-))}{Q} = \frac{\frac{1}{2}(p_c + p) + R^- - w}{\frac{1}{2}(p_c + p) + R^- + C_h} \tag{22}$$

En comparant cette équation à l'équation (16) plus haut on peut noter qu'en rajoutant le terme R^- , la probabilité d'atteindre la demande est plus grande que dans le cas décentralisé (équation 16). Ainsi le contrat présenté ici, permet d'une part à travers la pénalité non seulement de compenser le coût de rupture pour l'acheteur, mais il joue, d'autre part, un rôle important sur la décision concernant la capacité du producteur destiné au marché du trader, ce qui est bénéfique pour l'ensemble de la supply chain.

En faisant intervenir la fonction $f(\alpha)$, le producteur doit fixer sa capacité supplémentaire au

$$Q_s^*(q, R^-) = q - Q \frac{\left(\left(\frac{1}{2}(p_c + p) + R^- + C_h \right) (1 + \delta) \mu + \delta \mu (p_c + p) + 2(R^- - w) \delta \mu \right)}{C_h + \frac{1}{2}(p_c + p) + R^-}$$

niveau :

Celle-ci dépend de sa capacité initiale, de la commande q et du montant R^- de la pénalité. (23)

5.2 Comment restaurer la quantité d'échange efficace ?

Pour montrer comment un contrat permet de restaurer la quantité d'échange efficace, partons de la situation intégrée « *first best* »

A partir de l'équation (11), on peut poser :

$$1 - F \frac{(D - Q_{sl}^*)}{Q} = \frac{C_r - w}{C_r + \frac{(C_p + C_h)}{2}} \tag{24}$$

et en réécrivant l'équation (22) :

$$1 = F \frac{(D - Q_{sl}^*)}{Q} + \frac{C_r - w}{C_r + \frac{(C_p + C_h)}{2}}$$

$$1 = F \frac{(q - Q_s^*(R^-))}{Q} + \frac{\frac{(p_c + p)}{2} + R^- - w}{\frac{(p_c + p)}{2} + R^- + C_h} \quad (25)$$

Pour contraindre le producteur à choisir la capacité optimale qui permet minimiser l'espérance du coût total, l'acheteur fixe le niveau de commande q et la pénalité R^- qui permettent d'assurer l'égalité suivante :

$$Q_s^*(R^-) = Q_{s/l}^* \Leftrightarrow F \frac{(q - Q_s^*(R^-))}{Q} - F \frac{(D - Q_{s/l}^*)}{Q} = \frac{C_r + w}{C_r + \frac{(C_p + C_h)}{2}} - \frac{\frac{(p_c + p)}{2} - R^- - w}{\frac{(p_c + p)}{2} + R^- + C_h} \quad (26)$$

$$Q_s^*(R^-) = \frac{2(C_r + w)}{2C_r + (C_p + C_h)} - \frac{(p_c + p) - 2(R^- + w)}{(p_c + p) + 2(R^- + C_h)} \quad (27)$$

La coordination peut être améliorée en associant commande q et pénalité R . Par exemple si la commande livrée est égale à la demande ($q=D$), en supposant une égalité entre les coûts de possession C_p et C_h , on peut déduire un niveau de pénalité $R = (C_r - p)$ qui permet d'assurer la minimisation de l'espérance du coût total.

En tenant compte de la loi de probabilité de α , la quantité optimale de commande pour le trader en fonction de la pénalité R^- et qui permet d'augmenter sa marge est :

$$q^*(R^-) = Q_s^*(q, R^-) + Q \frac{\left(\frac{1}{2}(p_c + p) + R^- + C_h\right)(1 + \delta)\mu + \delta\mu(p_c + p) + 2(R^- - w)\delta\mu}{C_h + \frac{1}{2}(p_c + p) + R^-} \quad (28)$$

6. Discussion : cas de la pomme de terre de conservation

Les hypothèses sous jacentes à la modélisation que l'on vient de présenter s'inspirent du cas du secteur de la pomme de terre de conservation⁷ (destiné au marché du frais) où l'on doit faire face non seulement à des aléas climatiques mais aussi à des commandes en flux tendus de la part d'acheteurs. En effet, le marché du frais (hors industrie et hors exportation) est détenu en majeure partie par les hypermarchés et les supermarchés (près de 65% de la production en tonnes en 2000). L'approvisionnement des grandes surfaces se fait pour une grande partie sous forme de pomme de terre commandée « en juste-à-temps » en provenance des coopératives, soit en provenance de nombreux producteurs mis en concurrence.

Dans une telle situation les cours du marché sont guidés par la tension entre l'offre et la demande sur le plan quantitatif.

Dans ce cadre, plusieurs producteurs se sont lancés dans des stratégies d'investissement, notamment en termes d'irrigation, de moyens de lavage et de stockage réfrigérés, propres à la pomme de terre et, généralement très coûteux. C'est le prix à payer pour respecter les calibres demandés par le marché et les aspects de présentation externe répondant « plus facilement » aux contraintes de qualité constante exigée par le marché du frais. Les moyens de stockage constituent aujourd'hui une variable de différenciation importante entre producteurs (voir processus de transformation présenté plus haut).

Ces évolutions ont amené les organisations professionnelles à réfléchir à de nouvelles organisations au sein des filières et à deux nouvelles stratégies de conseil auprès des producteurs : deux voies sont privilégiées :

- inciter les producteurs⁸ à structurer davantage une offre commune pour mieux ajuster l'offre à la demande et éviter une concurrence destructrice sur le marché. Cet objectif vise également à favoriser les complémentarités entre producteurs de façon à ce que les ruptures chez certains producteurs compensent les excédents chez d'autres. Des dispositifs d'aide à l'investissement en moyens de stockage sont également envisagés ;
- favoriser des engagements avec l'aval de la filière sous forme de contrat pour s'assurer d'un débouché permanent et rentabiliser les investissements engagés.

Pour discuter les différentes stratégies, du point de vue de l'ensemble de la supply chain, mais aussi du point de vue du producteur-vendeur et de celui de l'acheteur, partons d'abord de la relation mise en évidence plus haut ...

6.1. Impact de la demande aval.

Du point de vue de l'ensemble de la chaîne, lorsque la demande sur le marché final se révèle élevée, les coûts de rupture C_r sont également élevés, ce qui pousse les acheteurs à commander plus auprès des producteurs. On déduit alors que :

⁷ Au total, il y a environ 170 000 ha plantés en pommes de terre en France, dont 100 à 105 000 ha en pomme de terre de conservation qui nécessitent des installations de stockage. La production totale en 2000 est d'environ 6,5 millions de tonnes, dont un peu plus de 4 millions de tonnes de pommes de terre de conservation. 60 % des pommes de terre de conservation sont **commercialisés à l'état frais**, ce qui représente environ 1 700 000 tonnes. Le commerce de détail vend près de 1 100 000 tonnes, dont 55 % à 60% sont commercialisés en hypermarchés et supermarchés.

⁸ Dans le secteur de la pomme de terre on distingue deux types de producteurs : les producteurs livrant leur production à des acheteurs et producteurs vendeurs assurant eux même l'écoulement de leur production sur le marché.

$$\frac{C_r - w}{C_r + \frac{(C_p + C_h)}{2}} > \frac{p - w}{p + C_h} \quad (29)$$

Ce qui signifie, comme cela a été présenté plus haut, que le coût global au niveau de l'ensemble de la supply chain dans une situation intégrée S_I est inférieur à la situation non intégrée S_{NI} .

Si sur un marché « lourd », où la demande est faible l'acheteur préférera S_{NI} , en effet il se trouve devant une situation où $C_p > C_r$. Il a donc intérêt à faire supporter le risque (le coût de possession des stocks) au producteur.

En faisant intervenir les équations (...), on constate que le producteur préférera S_I à S_{NI} , alors que l'acheteur S_{NI} à S_I pour pouvoir faire jouer la concurrence entre producteurs.

6.2. Impact des coûts de stockage.

Les stratégies d'investissement dans les moyens de stockage se traduisent par des coûts importants et entraîne par conséquent une préférence au niveau de la supply chain pour la stratégie S_{NI} , sauf si les coûts de rupture sur le marché final sont suffisamment importants pour venir compenser les coût de stockage C_p .

Le producteur préférera la stratégie S_{NI} , notamment lorsque la demande est élevée, pour rentabiliser directement son investissement sur le marché. Mais choisira S_I si un contrat incitatif combinant des engagements pluriannuels et lui garantissant un revenu régulier. L'acheteur préférera S_{NI} pour ne pas subir l'impact des coûts stockage chez le producteur sur les coûts d'approvisionnement.

On peut résumer ces différentes stratégies par le tableau suivant en distinguant deux hypothèses de coûts de stockage (fort et élevé) en fonction des demandes fortes et élevées :

	Hight market demand		Low market demand	
	Low inventory cost	Hight inventory cost	Low inventory cost	Hight inventory cost
Supply Chain	$S_I > S_{NI}$	$S_{NI} > S_I$ <i>$S_I > S_{NI}$, si les C_r sont assez élevés pour compenser les coûts de stockage C_p</i>	$S_{NI} > S_I$	$S_{NI} > S_I$
Trader	$S_I > S_{NI}$	$S_I > S_{NI}$	$S_{NI} > S_I$	$S_{NI} > S_I$
Producer	$S_{NI} > S_I$ sauf si incitation forte (prime à la régularité des livraisons et contrats pluriannuels)	$S_{NI} > S_I$	$S_I > S_{NI}$	$S_I > S_{NI}$

6.3. Conclusion

In this paper, we analyse the supply chain perishable products en présence d'asymétrie d'information sur les capacités de production et des commandes tardives de la part des traders. Nous avons modélisé deux formes de coordination : une situation intégrée producteur-acheteur et une situation décentralisée. Nous avons pris en compte l'impact du partage de l'information sur l'optimisation des capacités de production, sur les niveaux des stocks et sur le coût global au niveau de la supply chain.

Les résultats présentés s'intéressent à la conception de contrats innovants qui permettent d'augmenter la valeur globale créée. Nous avons mis en évidence les paramètres qui conditionnent le choix de certaines formes de coordination dans les supply chain et les arbitrages possibles. Le papier propose également les principales solutions qui permettent de réduire les inefficacités liées à des situations de rupture de produit ou de surstockage, coûteuses à la fois pour l'agriculteur et pour le trader.

Reference

- Andersson (H.), 1995 – Primary and secondary producers : economic implications of contracts in the food marketing chain, *European Review of Agricultural Economics*, 22, pp.310-320.
- Anupindi (R), Akella (R) (1993) – Diversification under supply uncertainty, *Management Science*, 39, pp. 944-963.
- Banerjee (A), (1986) – A jointeconomic-lot-size model for purchaser and vendor, *Decision Science*, 30, pp. 292-311.
- Cachon (G), Fisher (M), (1996) – *Supply chain inventory management and the value of shared information*, Duke University.
- Chen (F), (1988) – Echelon reorder points, installation reorder points, and the value of centralized demand information, *Management science*, 44 (12), pp. 221-234.
- Clark (A.J.), Scarf (H.), 1960 – Optimal policies for a multi-echelon inventory problem, *Management Science*, Vol.6, n° 4, pp. 475-490.
- Cohen (MA), Moon (S), (1991) – An integrated plant loading model with economics of scale and scope, *European Journal of Operational Research*, 50, 266-279.
- Corbett (C.J.), de Groot (X), (1997) – A supplier's Optimal Quantity Discount Policy under Asymmetric Information, *Management Science*, 46, pp. 444-450.
- Ferguson (ME), (2000) – *Supply Contracts in Serial Supply Chain : The trade Off Between Price and Commitment Time*, Duke University.
- Frank (S.D), Henderson (D.R), 1992 – Transaction costs as determinants of vertical coordination in the U.S. food industries, *American Journal of Agricultural Economics*, Nov, pp. 941-950.
- Gal-Or (E.), 1991a – Vertical restraints with incomplete information, *The journal of industrial Economics*, Vol. 39, September, pp. 503-516.
- Gal-Or (E.), 1991b – Duopolistic vertical restraints, *European Economic Review*, Vol. 35, pp. 1237-1253.
- Gaucher (S), (2002) – Organisation de filière et politiques d'approvisionnement. Analyse appliquée au cas des filières agro-alimentaires, *Thèse Ecole des Mines de Paris*.
- Gaucher (S), Soler (LG), Tanguy (H), 2002, Incitation à la qualité dans la relation vignoble-négoce, cahiers d'économie et sociologie rurales, n°62, pp. 7-40.
- Gaucher (S), Hovelaque (V), Soler (LG), 2000, Coordination entre producteurs et maîtrise des aléas de demande, cahiers d'économie et sociologie rurales, n°57, pp. 95-125.
- Gavernini (S), (2001) – Benefits of co-operation in a production distribution environment, *European Journal of Operational Research*, 130, pp. 612-622.
- Giraud-Heraud (E.), Soler (LG.), Tanguy (H.), 1998 – L'engagement sur la capacité comme restriction verticale : l'exemple de la commercialisation du Champagne, *Cahiers du Laboratoire d'Econométrie de l'Ecole Polytechnique*, n°460, Novembre.
- Hennessy (D.A.), 1996 – Information asymmetry as a reason for food vertical integration, *Rand Journal of Economics*, Nov., pp. 1034-1043.
- Janssen (F), Kok (T), (1999) – A two-supplier inventory model, *International journal of production Economics*, 59, pp. 395-403.
- Lau (A), Lau (H), (1998) – Decision model for single-period products with two ordering opportunities, *International Journal of Production Economics*, 55, pp. 57-70.
- Monahan (JP), (1984) – A quantity Discount Pricing Model to increase vendor profit, *Management Science*, 30, pp.720-726.
- Soler (LG.), Tanguy (H.), 1998 – Relations contractuelles et négociations interprofessionnelles dans le secteur des vins de Champagne, *Gérer et Comprendre*, Mars, pp. 74-86.
- Soler (LG.), Tanguy (H.), Valceschini (E) (1995) – Problèmes de Planification, Systèmes de Gestion et Organisation Interne de la Firme, *Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales*, 37, pp. 202-225.
- Vidal (CJ), Goetschacks (M), (1997) – Strategic Production-Distribution Models, *European Journal of Operational Research*, 98, pp. 1-18.
- Zimmer (K), (2002) – Supply chain coordination with uncertain just-in-time delivery, *International Journal of Production Economics*, 77, pp. 1-15.