

STRATEGIE D'OPTIMISATION SPATIO-TEMPORELLE DU PRIX DE VENTE
PAR ANALYSES FACTORIELLE ET MORPHOLOGIQUE

Jérôme Baray

Professeur à l'université Paris-Est (UPEC), Chercheur au Lab'Urba
Adresse : 11 avenue du Général de Gaulle, 94010 Créteil, France
Email: jerome-baray@orange.fr – Tel: +33 (0)6 85 83 05 12

Martine Pelé

Professeur à l'université Paris 2 Panthéon Assas, Chercheur au Largepa
Adresse : 13 avenue Bosquet, 75007 Paris
Email: Pele.martine@wanadoo.fr - Tel: +33 (0)1 53 59 44 60

Titre : stratégie d'optimisation spatio-temporelle du prix de vente par analyses factorielle et morphologique

Résumé : le présent article introduit une nouvelle méthode pour optimiser le prix de vente d'un produit ou d'un service ainsi que les autres paramètres du marketing-mix en tenant compte de l'offre et de la demande. La méthode comprend une segmentation multidimensionnelle selon les caractéristiques de l'offre et une détection automatique des opportunités commerciales et stratégiques.

Mots-clés : fixation du prix, stratégie de prix, mix marketing, optimisation du prix, segmentation, stratégie marketing

Title : price optimisation strategy using factorial and morphological analysis

Keywords: pricing; price strategy; marketing-mix; price optimisation; clustering; marketing strategy

Abstract: This article introduces a new method for optimising the selling price of a product or service as well as the other parameters of the marketing mix by taking account of supply and demand. The method consists of multidimensional segmentation depending on the characteristics of the supply, and the automatic detection of business and strategic opportunities by morphological functions.

STRATEGIE D'OPTIMISATION DU PRIX DE VENTE

Considérée comme dangereuse à manipuler, susceptible d'entraîner des réactions mal contrôlées de la demande et de la concurrence, la variable prix fut longtemps négligée. Elle représente cependant un des principaux leviers de la rentabilité de l'entreprise.

Les travaux de Dutta S. (2004), ont montré que les dirigeants prêtent relativement peu d'attention à la méthode de détermination des prix de vente des biens et services tandis qu'ils s'attachent à réduire leurs coûts, alléger leurs stocks ou engager des dépenses de publicité. Cette attitude provient parfois d'une méconnaissance des techniques de fixation des prix ou d'un maniement trop difficile des outils d'analyse.

Le BCG (2002) remarquait « qu'augmenter les prix d'un produit de 1 % avait quatre fois plus d'effet sur le profit qu'une baisse de 1 % des frais généraux et des coûts fixes. Pourtant, les gestionnaires consacrent moins de 10 % de leur temps aux questions de prix ».

Agir sur la variable prix, optimiser les tarifs permet d'améliorer la rentabilité. D'après Marn M. (2003), lorsqu'un prix est établi à un niveau inadéquat par une entreprise, il s'agit de prix trop bas dans 80 à 90 % des cas. L'entreprise se prive donc d'un profit substantiel.

Selon Bandilla K. (2005) l'optimisation du prix de vente peut contribuer à augmenter le taux de rentabilité nette de l'entreprise de 1 à 4%. L'impact du prix est bien supérieur à celui de la publicité.

Par exemple, pour les produits de grande consommation, modifier les prix de plus ou moins 5% a un effet sur le volume des ventes dix à vingt fois supérieur à celui d'une hausse de 5% du budget de publicité.

La décision de prix s'avère généralement très complexe et combine de nombreuses variables. Elle nécessite, tout d'abord, la prise en compte de contraintes techniques telles que les coûts, la demande, la concurrence, la place du produit dans la gamme, l'étape du produit dans son cycle de vie, la réglementation...

Ensuite, plusieurs facteurs ont une incidence sur l'environnement dans lequel la décision est prise et provoquent une rétroaction sur les variables précédentes: la globalisation qui élargit les marchés et multiplie les concurrents, le développement des technologies de l'information

qui permet au consommateur de comparer les prix, les facilités logistiques qui autorisent les déplacements physiques de marchandises.

Dans ce contexte hyperconcurrentiel, où les acheteurs sont infidèles et bien informés, la pression sur les prix est très forte et nécessite, de la part des responsables, une prise de décision éclairée.

Le « pricing » (mode de fixation des prix) ne relève plus de l'art ni de l'improvisation. « Les effets des décisions de prix sont souvent trop complexes pour être estimées intuitivement » remarque Simon H. (2005).

C'est pourquoi des outils sont mis en place pour systématiser et faciliter la démarche. Des logiciels spécialisés et diverses applications Web sont apparus, mais ils ne parviennent pas à prendre en compte l'ensemble des variables d'action. Les technologies de l'information aident à établir le prix d'un produit à un niveau adéquat sans, pour autant résoudre l'ensemble des problèmes posés au dirigeant.

Ebay, en donnant naissance aux encans électroniques permet de connaître le prix reflétant le mieux l'état de l'offre et de la demande d'un produit existant, mais pas d'un produit nouveau. Certaines entreprises se servent d'ailleurs des ventes aux enchères électroniques pour liquider leur surplus d'inventaire au meilleur prix.

La détermination des prix de vente des biens et services est un thème transversal, interdisciplinaire, qui concerne aussi bien l'économie générale, la stratégie d'entreprise que le marketing. Les études que l'on rencontre sur ce sujet en témoignent. Néanmoins, nous nous situons ici en stratégie car c'est la vision de l'entrepreneur, la manière dont il procède pour déterminer son prix de vente qui retient notre attention, ce qui n'empêchera pas d'utiliser des outils d'analyse empruntés au marketing tels que le mapping, les cartes perceptuelles.

L'objet de cet article est de proposer une démarche aussi exhaustive que possible et utilisable par le dirigeant, face à la difficulté de fixer un prix de vente.

I – LES METHODES DE PRICING

Avant de proposer une nouvelle méthode, nous retracerons, dans un premier temps, les méthodes pratiques en vigueur : d'une part les usages des entreprises en matière de détermination de leurs prix de vente et, d'autre part les pratiques commerciales.

Puis, dans un second temps, nous retracerons l'état de l'art en présentant d'abord les travaux de divers auteurs puis, les apports de nos recherches antérieures.

A – Les méthodes pratiques en vigueur :

En économie de marché, le prix de vente d'un article découle de la confrontation libre de l'offre et de la demande. Celui-ci influence à son tour le niveau de l'offre et de la demande. L'effet de rareté ou d'abondance fonction de ces niveaux, va lui-même influencer ce même prix par un effet de rétroaction. La difficulté dans l'estimation du prix de vente initial est donc de savoir quel va être l'effet de cette rétroaction et l'importance de la demande, cette demande pouvant varier dans le temps selon une certaine tendance ou une saisonnalité propre. La sensation de rareté perçue par le consommateur résultant d'un niveau d'offre inférieur à la demande est parfois entretenue par le distributeur (exemple Louis Vuitton) pour faire monter artificiellement le prix en rapport avec une image de luxe.

Ainsi, la fixation du prix d'un article doit être dynamique si l'on veut que ce prix soit ajusté aux variations temporelles de la demande et de l'offre. De plus, la problématique de fixation d'un prix est susceptible d'intervenir à plusieurs niveaux de la distribution, le produit étant échangé du producteur au distributeur final en passant par les grossistes et différents intermédiaires possibles. Il s'agit donc pour l'entreprise productrice de prévoir quelle va être l'importance de la demande à ces différentes strates avec leurs effets possibles de rétroaction individuelle.

a – Les usages en entreprise

Différentes méthodes de fixation de prix sont en usage notamment, celle de détermination par le coût de production, par la demande, par la concurrence et par les prix différenciés. Dans le premier cas largement répandu dans le commerce traditionnel, la détermination du prix par le coût de production va simplement majorer le prix de vente d'un produit par rapport au coût de production ou au prix d'achat proposé par le fournisseur. Il s'agit néanmoins de considérer la variation des coûts de revient en fonction des quantités produites et de percevoir intuitivement un niveau acceptable de prix pour l'acheteur. La méthode marketing d'approche par la demande prend en compte l'élasticité du prix par rapport à la demande et tente de maximiser les bénéfices ou la part de marché obtenue. Les facteurs quantités demandées et prix varient généralement en sens inverse l'un de l'autre. Des enquêtes auprès de consommateurs potentiels cibles permettent d'évaluer le prix d'acceptabilité que le plus grand nombre de consommateurs est prêt à payer (D. Adam, 1958). Un prix plafond trop haut et cher risquerait de décourager nombre d'acheteurs potentiels et un prix plancher trop bas serait le signe d'une

qualité insuffisante du produit. Le dépassement de certains seuils psychologiques de prix marque une chute notable de la demande et il convient souvent de pratiquer une politique de prix ronds ou de prix magiques (exemple 9,99 euros). L'approche par la concurrence consiste à effectuer une veille stratégique des prix pratiqués par la concurrence et à se positionner stratégiquement à travers une politique d'image haut de gamme (prix élevé) ou au contraire à se lancer dans une guerre des prix. Une alternative serait d'occuper les niches ou intervalles de prix où la pression concurrentielle est la plus faible afin d'engranger les parts de marché comme nous le développerons plus loin. L'approche par les prix différenciés positionne les tarifs évolutifs, par rapport aux autres produits de la gamme et en fonction de la période de vente (saison, jour de la semaine, tranches horaires) ou même selon le profil du client ou son comportement dans le cas des services commerciaux (cas général du yield pricing). Dans tous les cas, en vertu de la loi sur la revente à perte, une contrainte économique sur le prix minimal à pratiquer est donnée par le point mort de rentabilité en-dessous duquel l'entreprise enregistrerait des pertes.

Ainsi, de nombreux facteurs quantitatifs et qualitatifs sont théoriquement à prendre en considération pour la fixation du prix de vente optimal d'un produit ou d'un service à savoir :

- des facteurs de production : le coût de revient dépendant des quantités produites, les capacités de production,
- des facteurs économiques : la conjoncture économique,
- des facteurs concurrentiels : les prix pratiqués par la concurrence directe et indirecte,
- des facteurs commerciaux : les quantités vendues (remise sur quantité), les capacités de distribution,
- des facteurs marketing : l'élasticité de la demande sur le ou les segment(s) de marché considérés, la phase du cycle de vie dans laquelle se trouve le produit, les mêmes données relatives aux autres éléments de la gamme,
- des facteurs juridiques : la législation commerciale,
- du facteur temps,
- du facteur espace,
- des facteurs stratégiques selon l'objectif poursuivi par la firme.

Certains de ces facteurs sont interdépendants comme la demande et les prix pratiqués par la concurrence, fonction eux-mêmes du temps et de l'espace. On doit mentionner également que

les prix des produits influençant la demande sont davantage les prix ressentis par les consommateurs que les prix réellement pratiqués. Plusieurs études ont, en effet, montré que le consommateur méconnaît souvent les prix réels des produits qu'il a l'habitude d'acheter.

Par ailleurs, différentes stratégies peuvent être mises en œuvre selon l'objectif visé par l'entreprise, concernant son développement et celui de ses produits ainsi que son niveau de compétitivité commerciale lui permettant ou non de se mesurer directement à la concurrence.

La stratégie d'écrémage, présentant une politique de marge forte et souvent mise en œuvre lors du lancement de produits innovants, consiste à fixer un prix de vente élevé avant que des concurrents ne rentrent sur le marché. Ce prix de vente sera progressivement diminué au fur et à mesure de l'arrivée de concurrents et des économies d'échelle réalisées.

Dans d'autres cas, un prix de vente faible peut être appliqué pour capter la plus grande part de marché possible à travers une stratégie de pénétration ou pour mettre en péril ses concurrents ou décourager les nouveaux entrants dans une stratégie de prédation. Une stratégie de sacrifice à travers une remontée du prix permettra éventuellement d'accélérer le déclin d'un produit en fin de cycle de vie.

Il apparaît que les pratiques en entreprises sont souvent parcellaires, ne combinent pas les différentes méthodes, se limitent à un aspect du problème complexe de la fixation du prix de vente.

De plus, comme le remarquent H.M. Vogel, J.K. Bright et G. Stalk (2002), bien souvent l'organisation en matière de prix est défailante : plusieurs services de l'entreprise interviennent dans le désordre (services financiers, commerciaux, rabais accordés en fin de chaîne), ce qui aboutit, la plupart du temps à des prix trop bas. D'après les auteurs « many people touch pricing, but no one owns it ».

Des travaux (M. Pelé, 1990) sur les procédures de décision, montraient que la composition des équipes a un impact sur le niveau du prix. En effet, lorsque le directeur commercial intervient dans la décision, l'objectif de part de marché est privilégié ainsi que les contraintes constituées par la demande et la concurrence. A l'inverse, lorsque la responsabilité d'un directeur technique prédomine, la décision de prix est fondée sur la qualité, les coûts que la fabrication entraîne. L'enquête portant sur 40 entreprises avait montré que les dirigeants adoptent rarement un comportement rationnel. Ils se prêtent volontiers à une hiérarchisation des objectifs et des contraintes de prix mais, ces éléments sont rarement intégrés à un processus de décision rigoureux.

L'habitude, la routine, le choix de la solution de facilité poussent les dirigeants à reconduire les comportements du passé ou à imiter les pratiques des concurrents, sans remettre en cause leur propre démarche.

De même, S. Dutta (2005) relève que « beaucoup de gestionnaires se contentent de calculer leurs prix de vente en additionnant une marge à leurs coûts de revient. D'autres ne font guère plus d'efforts : ils se bornent à examiner les prix de la concurrence et à établir les leurs à un niveau semblable. Enfin, certains dirigeants arrêtent leurs décisions en la matière en se servant simplement de leur flair ou de leur expérience passée ».

Il convient donc, en tenant compte des informations disponibles ou accessibles, d'améliorer et de rationaliser les méthodes généralement empiriques utilisées par les dirigeants dans lesquelles intervient une large part d'arbitraire.

b – Des méthodes commerciales

Divers outils de pricing existent et sont proposés aux entreprises par des sociétés de conseil spécialisées, mais leur usage semble limité aux grandes firmes telles que FORD, GAP... d'après Fishman (2003).

Il s'agit de logiciels plus ou moins sophistiqués, dont la portée peut être ponctuelle, permettant de simuler l'impact de variations de prix sur le profit, de connaître l'historique des prix payés par un client, d'optimiser les démarques... ou plus globale, concernant l'ensemble du processus de prix.

Selon une étude menée à la Tuck School of Business de l'Université de Dartmouth, le recours aux logiciels d'optimisation des démarques entraînerait une hausse de 5 à 20 % des marges brutes des détaillants (Fleischmann M. et al., 2003).

Le Yankee Group estime qu'en mars 2004, 48 % des 1000 plus importantes entreprises des Etats-Unis utilisaient des outils de pricing. La demande de ces applications paraît plus forte dans les secteurs à haute technologie, télécommunications, distribution et vente au détail (Huang K., 2004).

Ainsi, depuis la fin des années 90, des sociétés de conseils en « pricing » ont vu le jour telles que ProfitLogic, Selectica, Yankee Group, Zilliant, Simon Kucher et Partners, Ipsos Novaction et Vantis... qui proposent toute une panoplie d'applications commerciales. Le marché est apparu attractif et certains chercheurs renommés, comme Herman SIMON ou Shantanu DUTTA, s'y sont eux-mêmes lancés. Ils ont conçu des logiciels de fixation des prix

très élaborés nécessitant des équipes de spécialistes pour leur application concrète en entreprise.

Les ouvrages qu'ils publient ne dévoilent rien sur les méthodes employées, se contentent d'y faire référence en développant essentiellement les domaines d'application (SIMON H., 2005). Ces services sont facturés très cher aux entreprises et paraissent efficaces mais nécessitent un délai de mise en place pouvant aller jusqu'à 12 mois et mobilisent plusieurs conseillers.

Par exemple, P.M.P.O. (Price Management and Profit Organization) est un logiciel de pricing mis au point par le Yankee Group et dont le secret est jalousement gardé. Il s'agit d'un software d'optimisation des prix qui éclaire l'analyse, automatise la décision et est censé aboutir à des améliorations de ROI et de profit aux environs de 10 à 20%... Le marché de PMPO a été de 728 millions de \$ US en 2006 et de 1 billion de \$ en 2007.

Il semblerait que les grandes entreprises prêtent de plus en plus d'intérêt à ces solutions intégrées. Il est vrai que les erreurs sur les prix peuvent coûter très cher.

L'exemple d'Apple est révélateur : l'iPhone est passé en 2 mois de 599 \$ à 399 \$, soit une baisse de prix d'un tiers. Ainsi, les consommateurs de la première heure se sont trouvés floués. L'entreprise, pour réparer l'erreur, a offert un avoir de 100 \$, mais ce dérapage a rendu méfiants les primo-consommateurs, provoqué des doutes sur la qualité et a même troublé les investisseurs boursiers puisque l'action Apple a baissé de plus de 8%.

En règle générale, les sociétés de conseil en pricing se spécialisent dans l'offre de certaines catégories de services, par exemple :

- Selectica, fondée en 1996 en Californie, propose des solutions software intégrées. Elle fournit des logiciels de vente et de services sur internet ; elle propose une plate-forme ayant pour utilité d'offrir aux clients des fonctionnalités qui, de façon interactive, les assiste tout au long des processus de sélection, configuration, fixation des prix, soumission de devis, exécution de commande.
- Zilliant (Texas) fournit des logiciels de prix aux entreprises de biens industriels et aux distributeurs (ZPPS 6-7 Zilliant Precision Pricing Suite). Ces logiciels intégrés d'optimisation réduisent les incertitudes quant aux prix en modélisant la demande. Ils aboutissent, par des programmes mathématiques, à des solutions automatiques de détermination des prix, plus profitables pour chaque produit.

- Vendavo (Californie), fournisseur de solutions d'optimisation de prix pour les sociétés de biens industriels (BtoB) apporte une aide pour un contrôle du processus de prix dans son ensemble. Les promesses d'amélioration des profits sont toujours alléchantes 10 à 30 %...

- ProfitLogic, start-up en 2003 acquise par Oracle en 2005, s'intéresse aux nouveaux systèmes Web-based de fixation des prix où le prix varie en fonction de la saison, de la date... La société édite des logiciels destinés aux détaillants, analysant les inventaires, les prix ou les promotions afin d'aider à l'optimisation de la stratégie financière. Elle propose des systèmes d'analyse et de mise à jour de bases de données sur Intranets. Ces bases de données se nourrissent d'informations en provenance des entrepôts et magasins telles que les commandes, les promotions, les chiffres d'affaires réalisés et le niveau des stocks. Toutes ces informations étaient éparses et difficiles à exploiter avec efficacité. La société permet de traiter ces éléments de façon dynamique, à l'aide d'algorithmes capables d'intégrer l'historique des ventes, les données d'inventaire et de mettre en évidence les meilleures réponses.

- Simon Kucher et Partners est une société de conseils spécialisée dans le pricing qui combine des méthodes d'analyse des données, de benchmarking, d'enquête sur les intentions d'achat des consommateurs... Elle utilise l'approche par la valeur perçue qui permet de définir un prix-cible acceptable souvent supérieur au traditionnel « coût plus marge », un prix élevé pouvant paraître gage d'efficacité ou de qualité.

Le secteur connaît aujourd'hui une certaine maturité qui provoque des concentrations telles que le regroupement d'Ipsos, de Novaction et de Vantis, sociétés d'études spécialisées en marketing réunissant leurs compétences en matières de biens de consommation, de biens durables et de services, étendant leur offre vers l'Europe, l'Asie, l'Amérique du Nord et offrant une palette d'outils considérable. Un grand nombre d'entre eux concernent les prix des produits et services (élasticité / prix, prévisions des ventes, optimisation d'offre...).

Les clients de ces sociétés restent essentiellement de grandes firmes, étant donnés les coûts élevés de ces prestations, dans les domaines de l'électronique grand public, l'automobile, les télécommunications, les services financiers, le transport maritime...

B – Etat de l'art :

a - La littérature académique :

Traditionnellement, dans la littérature académique sur les prix, on rencontre des études portant sur une ou quelques variables, mais aucune recherche n'englobe la totalité.

Certaines se focalisent sur la prise en compte des coûts, avec le calcul du point mort, du full cost ou du direct costing en ajoutant une marge désirée, jugée raisonnable dans la branche. D'autres intègrent la demande, mettant en œuvre l'analyse du backward costing, du prix psychologique, des intentions d'achat des consommateurs, des courbes d'acceptabilité du prix par la clientèle (D. Adam, 1958), du backward cost pricing (M. Giletta, 1992), du prix de référence interne (M. Zollinger, 1995), des intentions d'achat des consommateurs, du jugement comparatif (M. Zollinger, 2004)...

La concurrence est souvent combinée à l'une des deux variables précédentes.

La prise en compte de la demande passe aussi par l'utilisation de la méthode des mesures conjointes (J.C. Liquet, 2001) dans laquelle l'avis des consommateurs est requis. Le prix est alors considéré comme un des attributs du produit et peut revêtir plusieurs valeurs définies. Cependant, il ne s'agit pas d'une démarche d'optimisation du prix de vente.

Une autre façon de prendre en compte la demande est la méthode de l'évaluation contingente (Mitchell et al., 1989) qui « consiste à déterminer, avant la commercialisation, un prix maximum de vente unitaire qui reflète l'ensemble des valeurs attachées par l'acheteur au produit nouveau ». Cette méthode permet l'évaluation ex-ante du prix et du revenu prévisionnel associé, pour le producteur. Selon A. Durand (2007), « la méthode de l'évaluation contingente, contrairement à celle des mesures conjointes, limite les difficultés d'évaluation liées aux innovations, en particulier technologiques, qui présentent des attributs intangibles et réellement nouveaux ». Tony Cram (2006) montre la nécessité d'optimiser le prix, énumère les différentes variables à prendre en compte, préconise un comportement des dirigeants en la matière, mais ne propose pas de méthode synthétique pour obtenir en pratique un prix optimal.

On relève, par ailleurs, une dizaine d'enquêtes dans lesquelles les chercheurs se sont placés du point de vue du producteur pour étudier le processus de détermination des prix.

Les unes reposent sur l'analyse d'une ou plusieurs contraintes et les autres recensent et hiérarchisent les objectifs de prix. Au mieux, les auteurs qui ont développé l'analyse des objectifs ont traité accessoirement des contraintes et inversement. Or, il y a permanente interaction, processus adaptatif continu entre objectifs et contraintes de prix. Ces travaux sont présentés en fonction des variables retenues, dans le tableau 1.

Les recherches sur l'ampleur et les causes de la persistance de l'inflation dans la zone euro ont amené l'Eurosysteme à commander toute une série d'enquêtes auprès des entreprises sur leur comportement en matière de fixation des prix. Parallèlement à ces études, fondées sur un large éventail de bases de données quantitatives, l'I.P.N. (Eurosystem Inflation Persistence Network) a recueilli des informations complémentaires qualitatives en adressant aux entreprises des questionnaires spécifiques sur leur comportement de prix. Les résultats, analysés par Fabiani S. et al. (2005) (tableau 2) sont riches d'enseignements pour les gestionnaires. Il apparaît clairement que la méthode de fixation des prix dominante dans les entreprises de la zone euro reste, en 2005, celle du calcul du coût auquel on ajoute une marge tout en se référant aux prix pratiqués par la concurrence. Ceci prouve qu'encore aujourd'hui, malgré l'importance que revêt cette variable du marketing-mix, les méthodes utilisées restent souvent élémentaires. Les entreprises se privent de ce « réglage fin » de leur stratégie que le maniement adéquat du prix autoriserait et surtout de l'amélioration possible de leur rentabilité.

b – Les apports de nos travaux antérieurs :

Nous tenterons de proposer un outil, à la portée de toutes les entreprises, suffisamment complet et cependant facilement utilisable et efficace.

Pour ce faire, nous partirons des résultats de nos recherches antérieures et en rappellerons les principaux apports. Ces travaux ont connu trois étapes de développement :

1- Un problème d'optimisation sous contraintes :

La fixation des prix est envisagée en termes d' « objectifs à atteindre et de contraintes à respecter » ou encore de « maximisation de plusieurs objectifs sous diverses contraintes » (Pelé M., 1990).

Une enquête auprès de 40 entreprises a été effectuée pour mettre en évidence les éléments entrant effectivement dans la décision de prix.

Un classement global des objectifs a fait apparaître quatre objectifs prioritaires et trois objectifs secondaires :

- les plus importants sont financiers et commerciaux : il s'agit d'obtenir une marge bénéficiaire satisfaisante, d'augmenter ou de stabiliser la part de marché, de maximiser le cash-flow à court terme et de rentabiliser les investissements ;

- les objectifs secondaires, placés en 5ème, 6ème, 7ème positions sont : maximiser le profit à long terme, éviter ou affronter la concurrence, stabiliser les prix et les marges.

De même, deux groupes de contraintes se détachent nettement :

- trois contraintes prioritaires constituées par les coûts, la concurrence, la demande ;
- quatre contraintes secondaires, de moindre importance dans la décision de prix : la place du produit dans la gamme, la réglementation, les circuits de distribution et l'étape du produit dans son cycle de vie.

Les dirigeants sont conscients de la nécessité de combiner un grand nombre de variables dans la fixation des prix cependant, rares sont ceux qui intègrent l'ensemble dans un processus rigoureux de décision. Ce constat est d'ailleurs confirmé par les travaux récents de S. Dutta (2004).

Nous avons ainsi proposé un modèle d'optimisation servant de cadre de réflexion pour systématiser la démarche. Un algorithme de décision (voir schéma 1) aboutit, par itération, à une zone de prix possible.

2- Une optimisation des objectifs par arbitrage sur les maxima :

Dans une deuxième étape de ces travaux, nous nous sommes focalisés sur le problème de l'optimisation des objectifs, considérant que le traitement des contraintes, en termes d'intersection de zones de prix, ne posait pas de problème méthodologique.

En effet, un même prix ne peut satisfaire à la maximisation pure et simple de plusieurs objectifs à la fois. Or, ce qui intéresse le dirigeant étant d'obtenir « le meilleur » prix de vente, il devra aboutir à un compromis qui concilie des objectifs parfois contradictoires. C'est par une méthode d'optimisation des objectifs par arbitrage sur les maxima que la résolution de ce problème avance (Pelé M., 2000). Cependant, dans l'opération de hiérarchisation des objectifs, subsiste une part de subjectivité que la troisième étape des travaux atténue fortement.

3- Une combinaison de méthodes d'analyse multicritères :

Il s'agit de combiner au mieux les objectifs pour aboutir à un prix unique. On vérifiera ensuite la compatibilité du prix obtenu avec la zone d'acceptabilité précédemment déterminée par les contraintes.

En théorie, la fixation d'un prix de vente unique, satisfaisant à la maximisation de plusieurs fonctions-objectifs à la fois, est mathématiquement possible grâce à une combinaison originale de trois techniques d'analyse multicritères (voir algorithme schéma 2, Baray J., Pelé M., 2005).

Cependant, cette méthode, satisfaisante pour l'esprit car rigoureuse sur le plan mathématique, s'avère difficile à appliquer dans l'entreprise, faute d'information suffisante et faute de savoir transformer les objectifs de prix en fonctions-objectifs. C'est pourquoi, en reprenant certains de ces apports, nous proposons ici une nouvelle méthode dont la démarche diffère des précédentes, partant de données que l'on peut effectivement se procurer, en vue d'une utilisation pratique.

II – UNE NOUVELLE METHODE : L'approche par la détection automatique des opportunités stratégiques

Les données à considérer pour permettre une optimisation du prix de vente sont nombreuses et diverses. Ce prix ne peut être fixé sans considérer les autres éléments du marketing-mix avec un positionnement précis par rapport aux avantages concurrentiels de l'entreprise. Un bilan des informations variées susceptibles d'être prises en compte sera effectué et l'on exposera les objectifs généralement pris en compte par les entrepreneurs dans la fixation du prix. Une nouvelle méthode s'inspirant des outils de datamining les plus récents est proposée dans ce cadre. Une première illustration montrera comment l'optimisation peut se pratiquer lorsque l'on dispose de la seule répartition de l'offre en termes de prix. Un deuxième volet exposera le cas général où l'on dispose d'une information détaillant toutes les caractéristiques de l'offre existante ainsi qu'une évaluation de la demande.

A – Données disponibles permettant d'optimiser le prix de vente

La fixation d'un prix optimal répondant à une stratégie de produit bien établie ne peut se faire rationnellement que par rapport aux données disponibles qui peuvent être :

- des données internes à l'entreprise
 - Coûts de production en fonction des quantités produites ou tarifs fournisseur en fonction des quantités achetées avec capacités limites de production et/ou de distribution,
 - Prix des autres éléments de la gamme et/ou position relative,
 - Réductions éventuelles consenties sur les quantités achetées,

- Stratégie de l'entreprise vis-à-vis du produit, du service ou de sa gamme : politique de prix souhaitée (écrémage, pénétration, évolutif) tenant compte de la position sur le cycle de vie et découlant de l'objectif poursuivi (par exemple gain de parts de marché, maximisation du chiffre d'affaires ou de la marge,...).
- des données externes à l'entreprise et relatives à l'environnement :
 - Prix pratiqués par la concurrence
 - Elasticité de la demande par rapport au prix ou au minimum zone(s) d'acceptabilité des prix pour le produit ou le service proposé : prix plafond (prix maximum que les clients sont prêts à payer) à prix plancher (prix minimum),
 - Décalage entre le prix réel et le prix perçu par les consommateurs,
 - Données prospectives sur l'évolution de la demande vis-à-vis du produit ou du service considéré et sur l'évolution de l'offre concurrente.

La recherche d'un prix ou d'une zone de prix optimal se fait concrètement sur un ensemble fini de valeurs discrètes bornées par les prix plancher et plafond. Les données brutes disponibles en pratique sont généralement formatées en tableaux unidimensionnels ou se présentent sous forme de liste de valeurs ou de hiérarchie d'éléments :

Contraintes de prix

- $P < P_{\text{plafond}}$
- $P > P_{\text{plancher}}$

Tableau unidimensionnel :

- évaluation de la demande en termes de nombre de clients ou de quantité produite en fonction du prix, $Q(p)$,
- coût de production en fonction des quantités produites $Z(q)$: S'il s'agit du coût unitaire, les valeurs se présentent souvent en paliers croissants. La connaissance de q permet d'exprimer ce coût en fonction du prix de vente, $Z(Q(p))$.

Listes de valeurs

- Prix des autres éléments de la gamme P_{G1}, P_{G2}, \dots
- Prix des produits concurrents P_{C1}, P_{C2}, \dots
- Pas acceptable des prix considérés dans l'analyse : par exemple 0,1 euro

Hiérarchie d'éléments

- Classification hiérarchique du prix P à optimiser par rapport aux autres prix des produits de la gamme ou aux prix concurrents: $P_{G1} < \dots < P_{Gi} < P < P_{Gj} < \dots < P_{Gk}$;
 $P_{C1} < \dots < P_{C1} < P < P_{Cm} < \dots < P_{Cn}$

Les tableaux peuvent être multidimensionnels s'ils intègrent des variables espace-temps. Pour la demande, on aurait par exemple :

$D = F(P, X, Y, T)$ représentant la demande en chaque zone géographique de coordonnées X , Y représentent les coordonnées géographiques à l'instant T (données historiques ou prévisionnelles).

Formulation de la fonction multi-objectifs à optimiser

D'après l'enquête sur 40 entreprises, précédemment citée, les entrepreneurs recensent 7 objectifs pouvant être concomitants et qui vont conditionner la fixation du prix de vente d'un produit :

- les objectifs prioritaires : obtenir un bénéfice satisfaisant, augmenter ou stabiliser la part de marché, maximiser le cash-flow à court terme et rentabiliser les investissements.
- Les objectifs secondaires : maximiser le profit à long terme, éviter ou affronter la concurrence, stabiliser les prix et les marges.

Dans cette enquête, le produit est supposé être parfaitement défini en termes de positionnement marketing et de segment de marché. Une stratégie de différenciation fondée sur les prix peut être élaborée grâce à l'étude des prix de la concurrence et des autres produits de sa gamme. Il s'agira alors de détecter les zones de prix les moins « occupées » par la concurrence ou par ses propres produits tout en quantifiant le niveau de demande pour cette niche de marché.

Les différents objectifs poursuivis possibles dans la recherche du prix optimal peuvent être écrits comme suit :

- Maximisation de la part de marché en termes de demande : $\text{Max } [Q(p)]$
- Maximisation du chiffre d'affaires : $\text{Max } [Q(p) \times p]$
- Minimisation des coûts de production : $\text{Min } [Z(Q(p))]$
- Maximisation de la marge : $\text{Max } [Q(p) \times p - Z(Q(p))]$
- Maximisation du profit à court terme : $\text{Max } (\underset{0}{\text{Lim}}_{t \rightarrow t_0} [Q(p,t) \times p - Z(Q(p,t))])$
- Différenciation stratégique par le prix revenant à éviter la concurrence et à se positionner sur une niche de marché tout en se préservant de la cannibalisation :

$$\text{Max } [\underset{i}{\text{Min}} | p - P_{Ci} |] \ \& \ \text{Max } [\underset{j}{\text{Min}} | p - P_{Gj} |]$$

sous les contraintes :

- $P < P_{\text{plafond}}$
- $P > P_{\text{plancher}}$
- $P_{G1} < \dots < P_{Gi} < p < P_{Gj} < \dots < P_{Gk}$ prise en compte des autres prix des produits de la gamme

B – Modèle de fixation du prix optimal sur la base d'une statistique univariée

La répartition de l'offre d'un produit ou d'un service n'est en général pas uniforme selon le niveau de prix. L'offre peut se centrer sur certains niveaux de prix, par exemple les prix psychologiques ou les prix magiques. Le nombre de références d'un produit diminue en général pour des gammes de prix très élevées correspondant à une demande plus faible ou à l'opposé pour les gammes de prix très basses où l'offre est limitée pour des raisons de coûts de production. En observant cette répartition inégale des prix, le vendeur peut choisir d'aligner ses prix sur la concurrence (stratégie de prédation) ou rechercher des niches de prix (stratégie d'évitement). L'idéal serait de connaître la demande pour chaque niveau de prix grâce par exemple à un questionnaire administré auprès d'une clientèle potentielle ou bien en

analysant les ventes : il est alors possible de construire un indice de pression concurrentielle comme étant le nombre de références divisé par le nombre de clients sur différentes gammes de prix. Certains segments correspondant à ce ratio pourront être ciblés selon les stratégies décrites précédemment. Cependant, l'examen seul de la répartition de l'offre sur l'échelle des prix permet également d'orienter le choix du prix en fonction d'une certaine stratégie. Des lacunes importantes dans le nombre de références, à niveau local de prix pour lequel la demande ne doit certainement pas varier autant, sont susceptibles d'indiquer des opportunités dans la politique de prix pour une stratégie d'évitement de la concurrence. Pour être plus précis, la méthode consiste à construire grâce à une classification hiérarchique ascendante, des classes décrites par des intervalles de prix sur lesquelles l'offre est abondante. Les prix les plus éloignés de ces centres de classe représenteront donc des niveaux tarifaires sur lesquels l'offre est la plus rare, peu d'autres produits ayant un tarif assez comparable.

Un cas concret : le prix de micro-ordinateurs portables vendus sur internet

Représentons le nombre de micro-ordinateurs portables vendus sur Internet par tranche de prix : ces données ont été collectées à partir d'un site comparateur de prix de tous les revendeurs de matériel informatique français sur le web (site www.i-comparateur.com). La base comprend 1201 modèles d'ordinateurs portables de 200 à 4712 euros.

On remarque que l'offre n'est effectivement pas répartie régulièrement et qu'il existe une forte pression concurrentielle correspondant à des prix psychologiques sur les gammes de 590 à 599 euros, 690 à 699 euros et 790 à 799 euros. En revanche, la gamme de prix de 855 à 860 euros bénéficie par exemple d'une absence totale d'offre.

L'équation sur le graphe 1 représente le niveau de l'offre modélisé par une courbe polynomiale de degré 6 dont la première partie à l'allure d'une gaussienne : les points de l'offre sous la courbe correspondent à une pression concurrentielle faible à l'inverse des points au dessus de la courbe.

Mais, quel prix adopter si l'on cherche absolument à éviter la concurrence sur ce plan (stratégie d'évitement) ? Il s'agit dans ce cas de respecter la contrainte :

$$\text{Max} [\text{Min}_i | p - P_{Ci} |] \ \& \ \text{Max} [\text{Min}_j | p - P_{Gj} |]$$

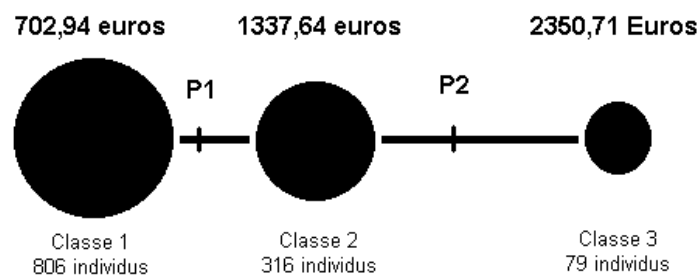
Une classification hiérarchique ascendante nous donne grâce à la minimisation de la variance intraclasse et de la maximisation de la variance interclasse une répartition optimisée en 3

gammes de prix dont les centres sont 702,94 ; 1337,64 et 2350,71 euros d'effectifs respectivement de 806, 316, 79 individus.

Si l'on représente le nombre d'ordinateurs proposés en fonction d'une gamme mobile de prix (graphe 2), on s'aperçoit que l'offre est faible sur certains intervalles et particulièrement sur les tranches [805 ; 860 euros] ; [1400 ; 1465] qui sont bien comprises à l'extérieur des classes préalablement établies.

Ainsi, il est possible de déterminer les prix optimaux entre ces classes, prix étant les plus éloignés de la concurrence et correspondant à une pression concurrentielle plus faible.

P1 à choisir sur l'intervalle [805 ; 860 euros] et P2 sur [1400 ; 1465] sont donc les prix optimaux où la concurrence s'avère être la plus faible en terme d'offre de modèle d'ordinateurs portables. Ces valeurs correspondraient aux tarifs qu'il faudrait établir si l'on voulait lancer en particulier deux nouveaux modèles d'ordinateurs dans des créneaux de prix rares. L'hypothèse de calcul est que la demande ne varie pas trop brusquement en fonction du niveau de prix pratiqué.



Cette optimisation unidimensionnelle du prix fondée uniquement sur l'examen de la répartition de l'offre ne prend pas en considération les différentes caractéristiques des produits proposés. Cette analyse peut être intéressante au préalable de la phase de conception.

Dans le cas général où l'on dispose d'une bonne information sur l'offre de la concurrence, des clusters vont pouvoir être formés selon un principe similaire grâce à une analyse factorielle préalable de la base de données décrivant l'ensemble des produits en termes de prix, caractéristiques produits voire canaux de distribution et promotion.

C – Modèle de fixation du prix optimal sur la base d'informations générales sur l'offre

Pour être optimal, le prix de vente doit être fixé en tenant compte si possible des caractéristiques du produit ou du service proposé si celui-ci est existant. Il doit en outre tenir

compte de la concurrence et d'une stratégie commerciale adaptée. Il est donc proposé dans ce cadre une méthode de fixation du prix stratégique d'un produit, d'un service ou d'une gamme par analyses factorielle et morphologique. La phase initiale de la méthode est de collecter toutes les données possibles relatives aux produits de l'entreprise et aux produits concurrents sur la gamme que l'on étudie. Ces données quantitatives et qualitatives peuvent correspondre aux différentes propriétés physiques du produit aussi bien qu'à des attributs marketing comme le prix, le ou les modes de distribution,...

La seconde étape consiste à obtenir de nouvelles variables indépendantes à travers une analyse factorielle (ACP ou AFC) et à obtenir une représentation spatiale des produits selon ces axes factoriels.

Dans une troisième étape, il s'agira de circonscrire les zones dans lesquelles se concentre l'offre : différentes techniques peuvent être utilisées comme la classification hiérarchique, les outils de clustering ou l'analyse morphologique. L'objet de cette étape est de déterminer les caractéristiques des produits dans chaque cluster mis en évidence. L'analyse morphologique est une technique mathématique utilisée en détection automatique des contours et analyse des formes. Elle a été utilisée avec succès en particulier dans la délimitation précise de zones de chalandise (Baray J., Cliquet G. 2007). Adaptée au traitement de grandes masses de données, elle comprend deux transformations de base dont la dilation et l'érosion (annexe I)

La dernière étape consiste à détecter au contraire les zones interclusters qui sont les moins bien exploitées : ces zones, correspondant à des marchés de niche et mises en évidence par l'analyse morphologique, pourront également être décrites en termes de caractéristiques idéales de produits, dont le prix qui, constitueront des avantages concurrentiels pour l'entreprise.

Résumé des 4 étapes de la méthode de fixation du prix optimal

Etape 1

Veille concurrentielle : rassembler les données sur les produits de la concurrence et sur ses propres produits de manière à constituer une base de données la plus complète possible (chaque produit étant décrit par prix/caractéristiques qualitatives et quantitatives/ éventuellement mode de distribution/mode de promotion)

Objectif : création d'une base de données des produits avec leurs caractéristiques quantitatives et qualitatives.

Etape 2

Analyse factorielle de manière à obtenir des variables indépendantes les unes des autres (facteurs principaux). On retiendra un nombre limité de facteurs pour faciliter les traitements ultérieurs. Des cartes factorielles seront alors établies représentant axes factoriels et individus (les différents produits sur le marché).

Objectif : représentation selon les axes factoriels du nuage de points des produits et interprétation des axes (lien de corrélation des axes avec les facteurs quantitatifs dont le prix).

Etape 3

Segmentation des données par rapport aux facteurs principaux afin de décrire les zones occupées par la concurrence et les zones lacunaires ou niches de marché (spécification des zones sur les cartes factorielles présentant une faible concurrence, décrites en termes de facteurs principaux et caractéristiques prix/produits).

Les traitements utilisant la morphologie mathématique paraissent bien adaptés pour circonscrire les différentes zones de l'espace factoriel selon leur densité (le niveau de densité de produits dans une zone de l'espace indique le niveau de la pression concurrentielle). La fonction de dilatation détecte les zones présentant une offre dense (individus/produits rapprochés). Le négatif de cette carte dilatée indique les zones à faible densité d'offre. Une alternative serait d'utiliser l'analyse hiérarchique ascendante, cependant moins pratique pour la délimitation précise des frontières des zones (elle n'est capable que d'indiquer les individus de chaque clusters).

Objectif : décrire en termes de caractéristiques prix/produit les zones à forte et à faible pression concurrentielle.

Etape 4

Sélection des zones de l'espace factoriel les plus en adéquation avec la stratégie choisie.

Objectif : détermination du prix et des caractéristiques produit correspondant à la stratégie marketing de l'entreprise tout en prenant en compte l'offre existante. Dans le cadre d'une stratégie d'évitement, il s'agit de cibler les zones des cartes factorielles à faible pression concurrentielle. Le ou les prix optimaux seront fixés en considérant les centroïdes de ces zones.

Un cas concret : le prix de voitures d'occasion

Considérons cette fois une base de données de l'offre disponible comportant davantage de facteurs que le seul nombre de modèles disponibles sur le marché. Des informations ont été rassemblées sur les voitures d'occasion récentes vendues par des concessionnaires sur Internet (étape 1 de la méthode - 2114 véhicules de l'année 2008 des 26 principales marques automobiles, vendus sur le site www.autoscout24.fr). Les variables disponibles sont la marque, le modèle du véhicule, son nombre de kilomètres au compteur, sa puissance réelle en chevaux, le mois de première immatriculation en 2008, son prix, les coordonnées géographiques de son lieu de vente (le code postal a été géocodé de façon à récupérer les coordonnées géographiques de la commune correspondante au format grs80, le format classique des systèmes gps).

Une analyse en composantes principales effectuée sur les variables continues montre logiquement que prix et puissance sont étroitement corrélés : les valeurs négatives du premier axe factoriel correspondent à des niveaux de cylindrées et de prix élevés. L'originalité de cette ACP est d'avoir intégré les coordonnées géographiques X,Y de façon à constituer des clusters géographiques définissant une offre proche en termes de caractéristiques produits.

La mise en œuvre d'une classification hiérarchique ascendante en prenant comme variables les 6 premiers facteurs de l'ACP montrent que le type de véhicules commercialisés est assez différent selon les régions. 3 régions principales se dégagent au niveau national : le Nord/Nord Ouest (tableau 3 - groupe c_hac_1) où les véhicules sont plutôt de marque étrangère (Nissan, Fiat, Lancia) de puissance et de prix faibles ; le Sud-Ouest/Centre (groupe c_hac_2) comportant davantage de marques françaises (Renault, Citroën) et espagnoles (Seat), l'Est (groupe c_hac_3) avec des voitures de puissance et de prix plus élevés allemandes ou de marque Peugeot (schéma 3).

Principe de la détermination du prix

Considérons la distribution des caractéristiques des véhicules (individus) représentés dans l'espace factoriel grâce à l'analyse en composantes principales mise en œuvre (étape 2 – graphe 4). La densité des individus présente une certaine homogénéité au niveau local dans cet espace multifactoriel, mais est néanmoins susceptible de compter quelques lacunes (petites zones de l'espace factoriel où la densité de l'offre est anormalement faible par rapport à son environnement immédiat). Il s'agit donc à travers la présente méthode de détecter ces lacunes pouvant représenter une opportunité en terme commercial et de préciser leurs spécificités en termes de prix, caractéristiques de véhicules,... Une transformation morphologique de dilatation a été appliquée à la représentation factorielle des individus selon les axes factoriels 1 et 2 (graphe 5). L'effet de cette transformation est de mettre en évidence par une sorte de lissage les zones denses en termes d'offre apparaissant en noir. Le négatif de cette représentation représente par voie de conséquence les zones à faible densité d'offre : Ces zones ont été identifiées automatiquement, numérotées (18 zones sur les graphes 6 et 7), positionnées par les coordonnées factorielles de leurs centroïdes et les caractéristiques produits correspondantes (tableau 4).

La zone ou lacune 17 montre qu'il existe par exemple une absence notable d'offre pour des véhicules de 4 mois d'ancienneté, d'une puissance d'environ 72 CV et d'un prix proche de

10599 euros. Un vendeur pourra donc jouer sur une stratégie de différenciation en se positionnant sur ce segment particulier. Si l'on juge qu'un des facteurs comme la puissance ou la jeunesse des véhicules ne constituent pas un levier concurrentiel que l'entreprise maîtrise, il suffit alors de neutraliser ce paramètre dans l'analyse factorielle et dans la détection automatique des zones de faible concurrence.

A l'inverse, on peut considérer d'autres facteurs sur lesquels on possède une marge de manœuvre plus importante. Imaginons que le point de vente ne soit pas encore créé, il est alors possible d'intégrer les coordonnées géographiques X, Y dans l'ACP comme nous l'avons fait préalablement et la détection des lacunes d'offre apportera des préconisations sur la ou les implantations à mettre en œuvre outre les caractéristiques des véhicules devant être commercialisés sur des créneaux libres de concurrence.

Cette analyse ne porte que sur l'examen de l'offre produit mais peut prendre en compte la demande de façon simple. Il suffit d'ajouter des contraintes supplémentaires sur les zones de l'espace factoriel à cibler correspondant aux caractéristiques des produits souhaitées par la clientèle potentielle. Une étude de marché peut par exemple montrer une préférence des consommateurs pour des voitures plus économiques, de moins de 100 CV : les zones à cibler se limitent alors aux zones 5 et 17 avec des prix respectivement autour de 16774 et de 10599 euros.

Cette méthode de fixation du prix optimal et de détection des avantages concurrentiels à exploiter comprend plusieurs avantages qu'il faut souligner :

- Elle prend en compte toutes les caractéristiques mesurables des produits concurrents.
- Elle peut s'appliquer à un produit ou à un service existant, ou à un produit ou à un service à lancer. Toutes les caractéristiques comprenant le prix seront alors indiquées par la méthode.
- Les 4P peuvent donc être décrits intégralement selon cette méthode. Chaque zone de l'espace factoriel correspond à des caractéristiques 4P si la base de données traitée en intègre les données.
- La sélection des zones de prix/caractéristiques de produits et de la concurrence peut être dynamique : les bases de données doivent être alors remises à jour régulièrement.
- Les prix et caractéristiques de produits peuvent être planifiés dans le temps : un cheminement dans l'espace factoriel est alors à déterminer pour planifier les évolutions prévues de prix.

- La méthode est capable d'intégrer de traiter de très grosses bases de données tenant compte de l'offre et de la demande (rapidité de traitement de l'analyse morphologique).
- Des gammes de produits peuvent être spécifiées : elles correspondront chacune à une zone de l'espace factoriel.
- Les caractéristiques de la demande obtenues par exemple par enquête peuvent également être intégrées. Un filtre (contraintes) permettra dans ce cas de limiter les zones acceptables dans l'espace factoriel.

Limites et perspectives

La méthode présentée permet par un positionnement précis de donner une place déterminée par rapport à la concurrence à un produit ou à un service grâce à des techniques de datamining. Alors que les techniques de classification hiérarchique n'aboutissent qu'à des regroupements d'individus, l'analyse morphologique appliquée à une carte factorielle permet de circonscrire à la fois les zones occupées par les produits de la concurrence et les zones libres. Dans le cadre d'une optimisation de l'avantage concurrentiel, une stratégie de positionnement offre donc la possibilité de cibler des zones à faible pression concurrentielle et d'indiquer les paramètres à prendre en compte comme le prix, les caractéristiques du produit, les lieux de distribution à privilégier. L'exemple présenté ci-dessus présente une carte factorielle limitée à deux axes, mais l'analyse pourrait tout aussi bien se faire dans un espace de représentation comportant n axes factoriels, de même qu'elle pourrait intégrer des variables qualitatives si on utilisait une analyse factorielle des correspondances au lieu de l'ACP.

La présente analyse est réalisée de façon statique et apporte des préconisations fondées sur une photographie de l'offre et de la demande à un certain instant. L'optimisation du marketing-mix peut se faire de façon dynamique si l'on réussit à constituer la base de données des caractéristiques de l'offre en temps réel. Ce système converti en logiciel serait particulièrement adapté à la fixation du prix des produits vendus sur Internet en utilisant les principes du web-datamining. Les caractéristiques de la demande sont plus difficiles à cerner en dynamique. On peut se fonder sur les ventes d'un point de vente ou d'un site Internet (ou bien sur le nombre d'enchères sur les sites du type EBay). Il est cependant ardu de connaître la demande pour les produits de magasins concurrents ou pour des produits totalement innovants, demande qui ne peut s'évaluer que par des études de marché.

La méthode prend en charge des stratégies de marché de niche ou au contraire des stratégies de prédation plus agressives qui ciblent des zones de l'espace factoriel déjà occupées par la concurrence. La question est de savoir quel va être la réaction de cette concurrence face à ce nouveau positionnement. Il serait alors opportun de faire appel à la théorie des jeux et aux lois de probabilité pour étudier quel positionnement serait le plus sûr et le moins risqué dans le temps, ce qui sera l'objet de recherches ultérieures.

Conclusion

La méthode développée dans cet article optimise le prix d'un produit ou d'un service ainsi que les autres éléments interdépendants du marketing-mix en tenant compte de l'offre et de la demande et d'une stratégie plus ou moins offensive. Elle offre de façon nouvelle la possibilité d'exploiter de grandes quantités de données pour pouvoir définir également des frontières précises entre certaines gammes éventuelles de produits existants ou à concevoir. Le développement du web facilite la collecte de nombreuses données sur l'offre et permet donc l'enrichissement de bases de données destinées à être traitées de façon automatique fournissant des préconisations régulières et quasi-instantanées sur la stratégie marketing à suivre. Les secteurs d'application concernent tous les domaines marchands en particulier la grande distribution, les entreprises de production, le secteur des services (tourisme, agences immobilières, banque de détail, assurances). D'un autre côté, la même procédure sera utile pour la veille d'information et l'analyse dynamique des stratégies de la concurrence en suivant le cheminement des formes pleines au sein de l'espace factoriel toujours grâce à l'analyse morphologique ou à des techniques moins sophistiquées de clustering comme les algorithmes des k-means, de Forgy ou des nuées dynamiques ou encore la classification hiérarchique ascendante. Des recherches complémentaires pourront déboucher, outre l'amélioration de cette méthode à travers l'intégration de stratégies complexes, sur une meilleure compréhension des interactions entre offre et demande.

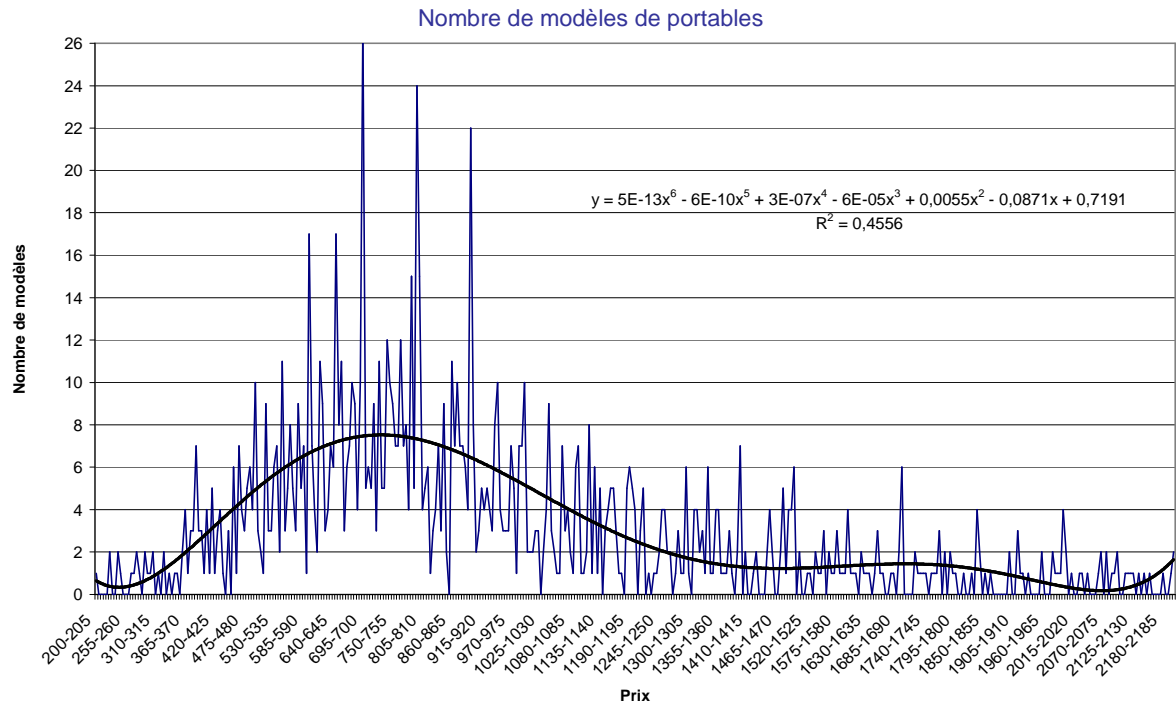
Bibliographie

- Adam D. (1958) “Les réactions du consommateur devant le prix”, S.E.D.E.S., Paris.
- B.C.G. (2002) “The Price is Wrong”, *The Economist*, (23 may).
- Bandilla K., Simon H. (2005) “Maîtriser la chaîne des prix pour accroître ses profits”, Revue Espaces, n°226, (mai).
- Baray J., Cliquet G. (2007) “Delineating store trade area through morphological analysis”, European Journal of Operational Research, 182, p.886-898.
- Baray J., Pele M. (2005) “ La détermination du prix de vente grâce à l’analyse de la décision multicritères “, La Revue des Sciences de Gestion, n° 214-215, 63-73.
- Chanson T. et al. (1986) “Les consommateurs connaissent-ils les prix des produits courants ? “, Revue Française du Marketing, 106, 55-62.
- Chermant J.L. et Coster M. (1989) *Précis d'Analyse d'Images*, Presses du CNRS.
- Cram T., Smarter (2006) *Pricing*, Pearson, 243 p.
- Davies J., Hugues S. (1975) “Pricing in Practice”, Heinemann Educational Books, London.
- Desmet P., Zollinger M. (1997) “De l’analyse conceptuelle aux méthodes de fixation”, *Economica*, coll. Gestion, 244 p.
- Desmet P., Zollinger M. (2005) “Politique de prix” in *Manuel de Gestion DAYAN A.*, Ellipses, 381-399.
- Durand A. (2007) *Evaluation contingente de la valeur du service offert par la technologie NFC intégrée au téléphone mobile*, MIWIS, Montpellier, 23 p.
- Dutta S. et al. (2004) “Managerial and Costumer Costs of Price Adjustment: Direct Evidence from Industrial Markets”, Review of Economics and Statistics, vol. 86, n°2, (may), 514-533
- Dutta S. et al. (2002) “Pricing as a Strategic Capability”, M.I.T. Sloan Management Review, vol. 43, n°3, 61-66.
- Dutta S. (2005) “Fixer les prix ne relève plus de l’art“, Perspectives, 26-28.
- Earley J. (1956) “Marginal Policies of Excellently Managed Companies”, American Economic Association Review, (mars).
- Ellickson P.B. (2007) Misra S., *Supermarket Pricing Strategies*, BCRST Conference at the University of Toronto, (January), 48 p.
- Fabiani S. et al. (2005) “Fixation des prix dans la zone euro: résultats d’une enquête réalisée par l’Eurosysteme”, Revue Economique, (3ème trimestre).

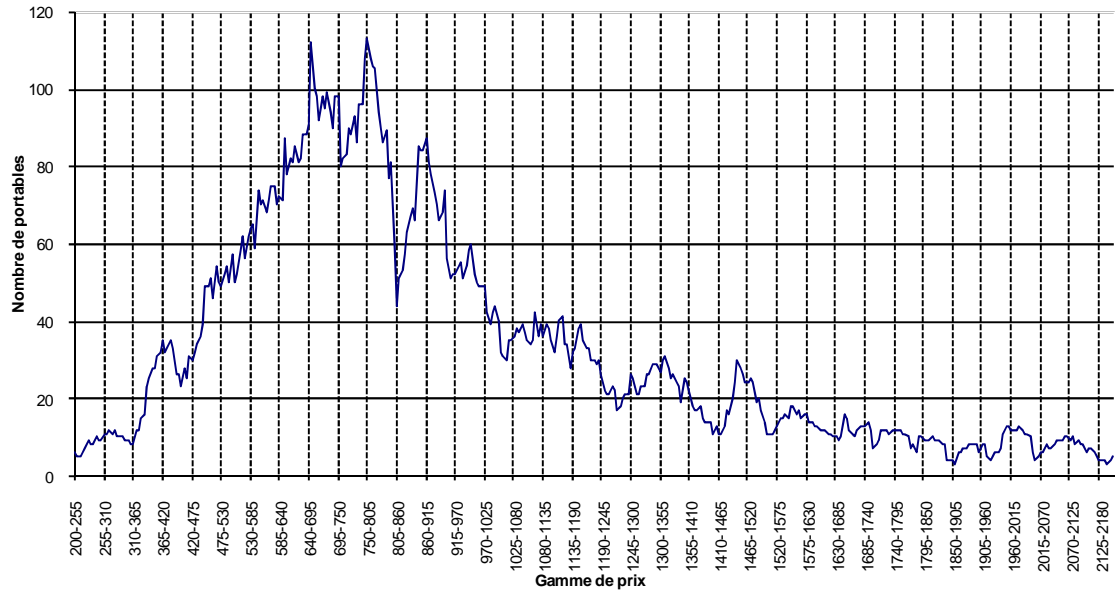
- Fishman C. (2003) “Which Price is Right”, Fast Company, n°68, (mars).
- Fleischmann M. et al. (2003) “Smart Pricing: Linking Pricing Decisions with Operational Insights”, Hanover (New Hampshire), University of Dartmouth.
- Fog B. (1960) “Industrial Pricing Policies”, North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Gabor A., Granger C. (1966) “Price as an Indicator of Quality : Report on an Enquiry”, *Economica*.
- Giletta M. (1992) “Prix: de la maîtrise des prix à la maîtrise des coûts”, coll. Vuibert Gestion, Vuibert, 143 p.
- Hadwiger H. (1957) *Vorlesung Über Inhalt, Oberfläche und Isoperimetrie*, Springer Verlag, Berlin.
- Hague D. C. (1971) “Pricing in Business” Allen Urwin, Publication of The center of Business Research, University of Manchester, London.
- Hall R. L. (1939) “Price Theory and Business Behaviour”, Oxford Economic Papers, n°2, (mai) 1939, 12-45.
- Haynes W. W. (1962) “Pricing Decisions in Small Business”, University of Kentucky Press, Lexington.
- Hirn F. (1986) “La mémorisation des prix des produits courants”, Revue Française du Marketing, 106, 55-62.
- Huang K. (2004) “Why innovative companies are Investing in Price optimization, Execution and Analysis Solutions”, Yankee Group.
- Kaplan A. D. H., Dirlam J.B., Lanzillotti R.F. (1958) “Pricing in big Business”, a Case of Approach, The Brookings Institution, Washington D.C..
- Liquet J.C. (2001) Cas d’analyse conjointe, éd. Technique et documentation 166 p.
- Little J. (1979) “Decision Support Systems for Managers”, Journal of Marketing, 43, (juillet).
- Marn M. et al. (2003) “Pricing New Products”, McKinsey quarterly (july).
- Matheron G. (1982) *Les Applications Idempotentes*, Rapport du Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique n°743, Ecole des Mines, Fontainebleau.
- Meyer F. (1978) IIème Symposium Européen d'Analyse d'Images en Sciences des Matériaux, Biologie et Médecine, 4-7 oct. 1977. *Pract. Met.*, S8, p. 374, Caen, France.
- Minkowski H. (1903) Mathematics Annals, Vol. 57, 447.

- Mitchell R.C., Carson R.T. (1989) "Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method, Resources for the Future, Washington D.C., 463 p.
- Norman G., Thisse J.F. (1996) "Product Variety and Welfare under Discriminatory and Mill Pricing Policies", Economic Journal, 106, 76-91.
- Pass C. (1971) "Pricing Policies and Market Strategy : an Empirical Note", European Journal of marketing, vol. 5, n° 3, 94-98.
- Pele M. (2000) Choisir un prix de vente, satisfecit ou optimum ? in Encyclopédie Paris II, Dalloz, 1447-1465.
- Pele M (1990), "Une nouvelle méthode pour déterminer le prix de vente", Revue Française de Gestion, (sept.-oct.), 17-27.
- Serra J. (1982) Image Analysis and Mathematical Morphology, Academic Press.
- Shugan S.M., Desiraju R. (2001) "Retail Product-line Pricing Strategy when Costs and Products Change", Journal of retailing, Vol. 77, n°1, (Spring).
- Simon H., Jacquet F., Brault F. (2005) "La stratégie prix", Dunod, Paris, 387 p.
- Simon H. (1993) "Le prix optimal : un concept majeur", Décisions Marketing, (mai), 35-45.
- Simon H., Speckmann V. (1995) "Le prix, souci numéro un du marketing", Décisions Marketing, 6, 7-10.
- Sternberg (1979) Proc. 3rd Int. IEEE Comprac, Chicago.
- Tabuchi T. (1999) Pricing Policy in Spatial Competition, Regional Science and Urban Economics, (January 1st).
- Thisse J.F., Vives X. (1988) "On the Strategic Choice of Spatial Price Policy", American Economic Review, 78, 122-137.
- Vogel H.M., Bright J.K., Stalk G. (2002) "Organizing for Pricing", Perspectives B.C.G..
- Zollinger M. (2004) "Le jugement comparatif des prix par le consommateur", Recherche et Applications en Marketing, vol 19, n°2, 73-91.
- Zollinger M. (1995) "Le prix de référence interne : existence et images", Décisions Marketing, 6, 89-101.

Graphe 1

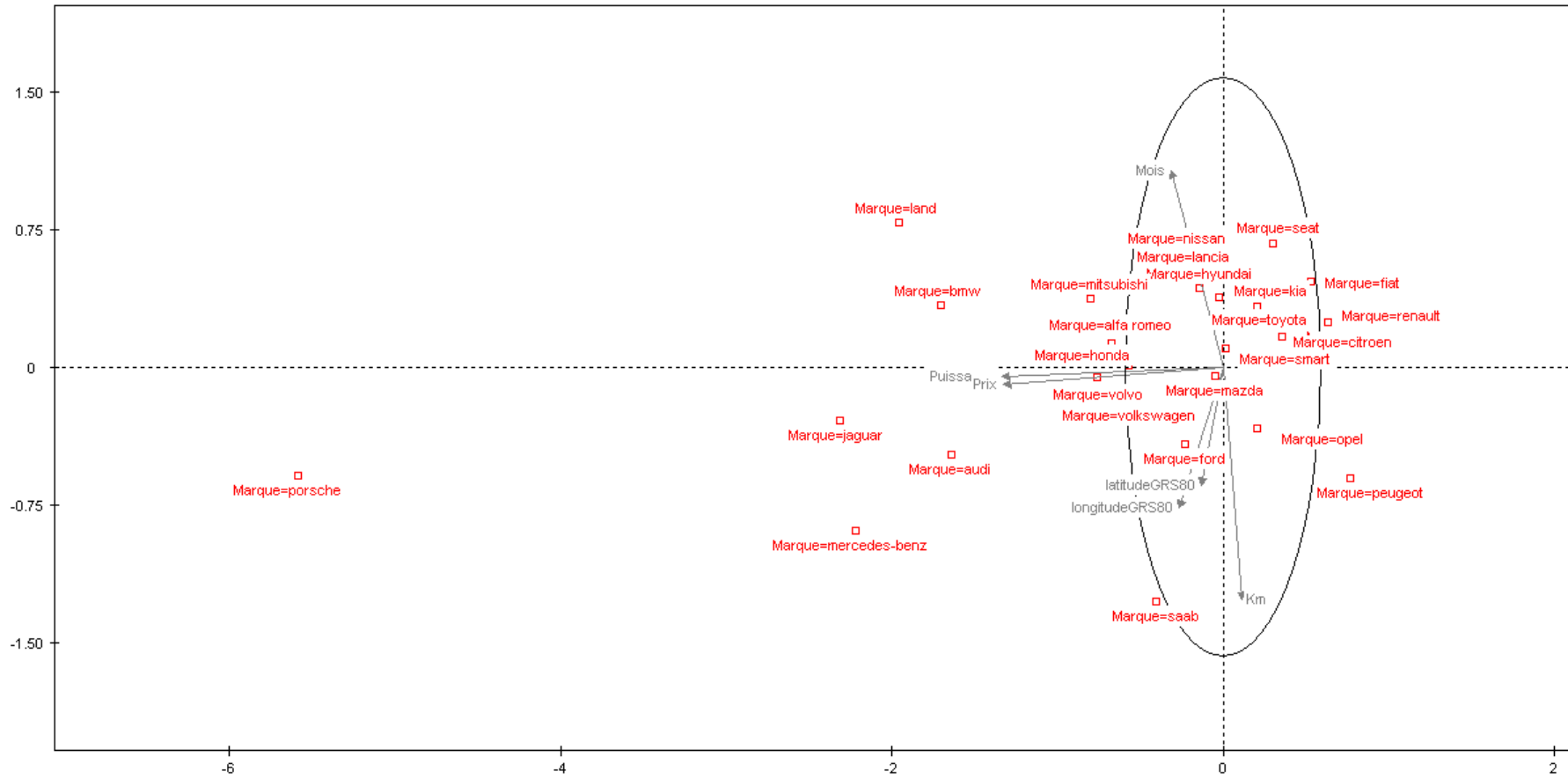


Graphe 2



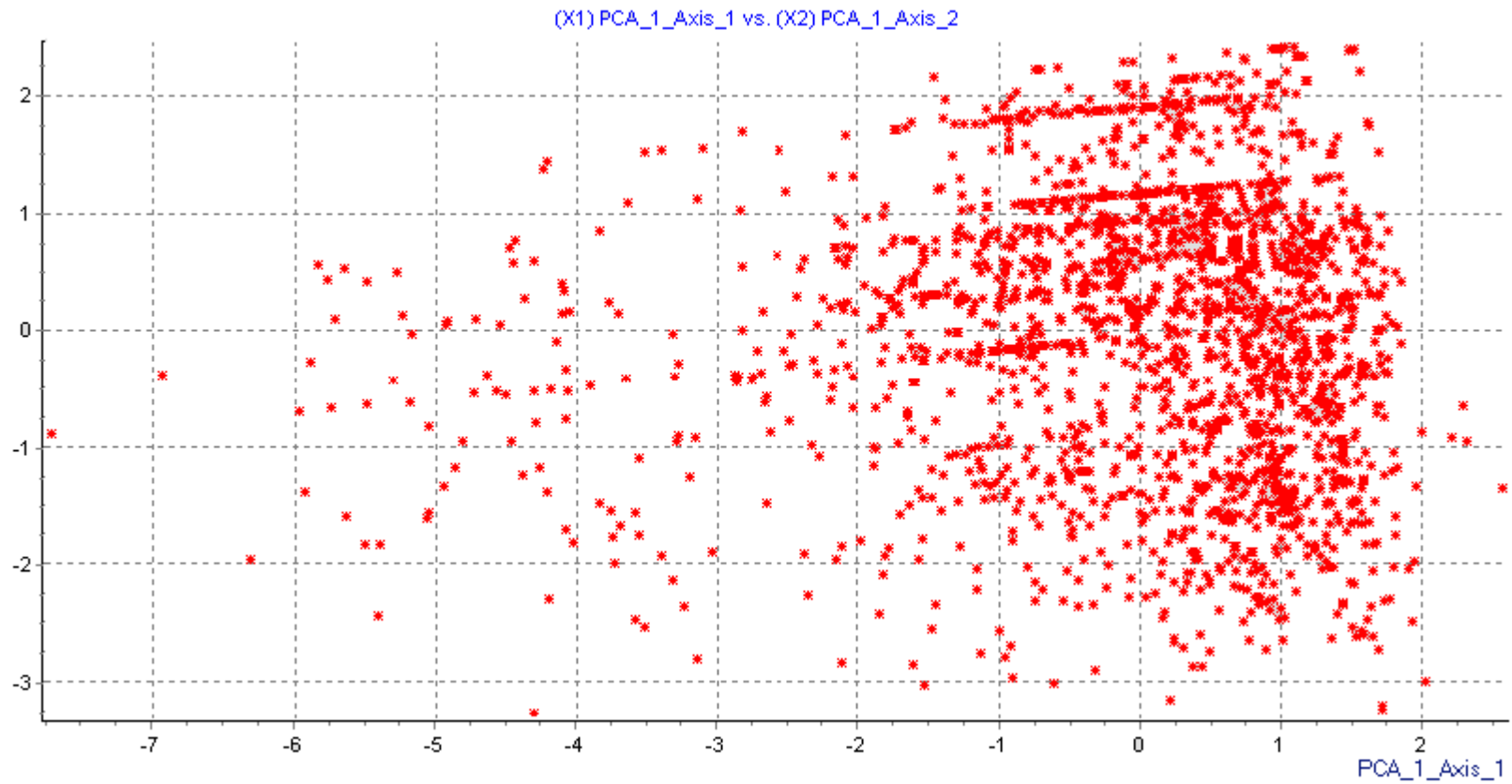
Grphe 3 – Carte factorielle des marques et cercle des corrélations

Facteur 2



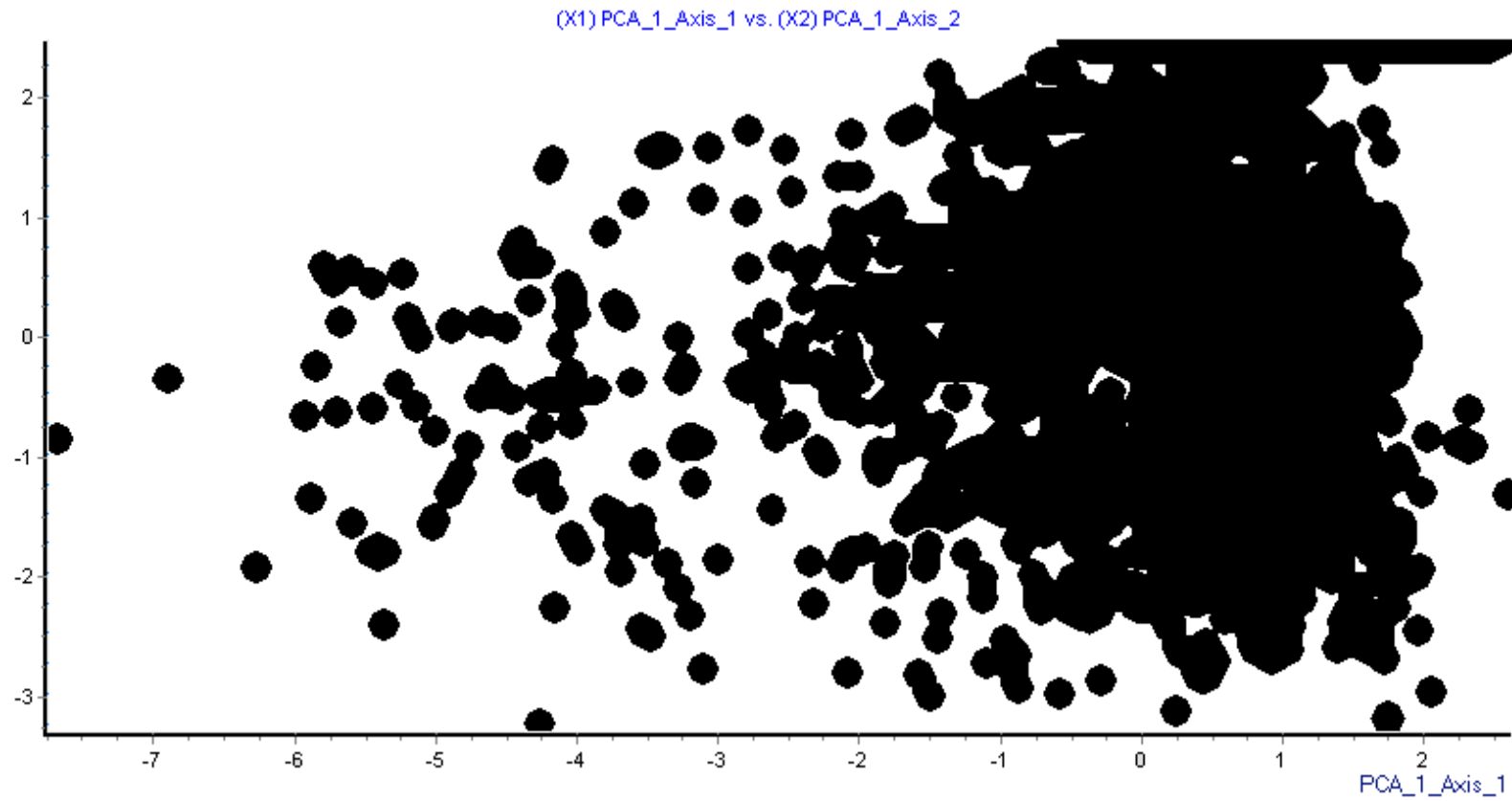
Graphe 4 : Représentation des individus (véhicules en vente) dans le référentiel Axe factoriel 1 / Axe Factoriel 2

PCA 1 Axis 2



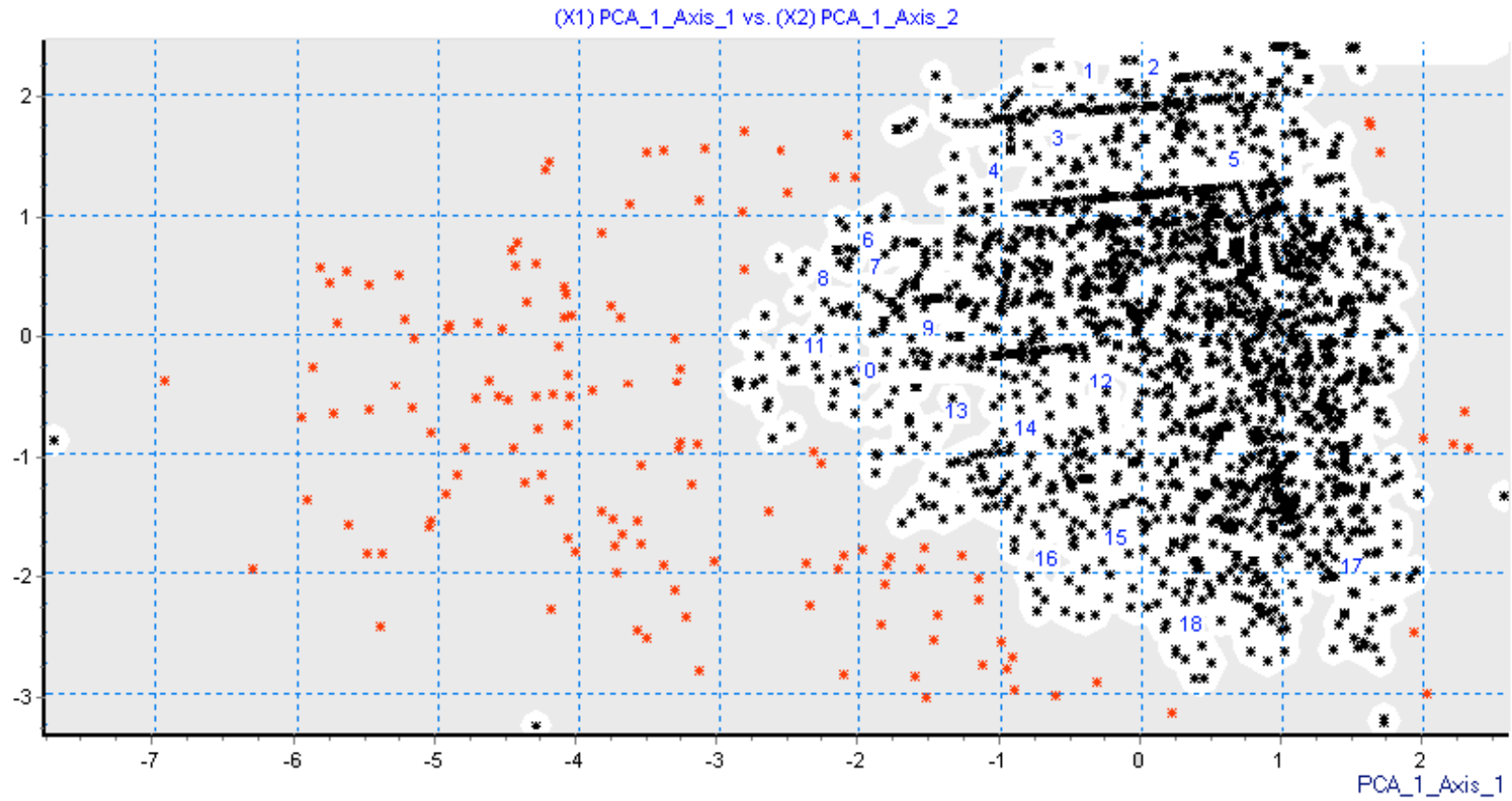
Grphe 5 : Mise en œuvre d'une transformation morphologique (dilatations)
destinée à détecter les zones à faible pression concurrentielle (lacunes)

PCA 1 Axis 2



Grphe 6 : Dtection, numrotation et mesure des zones à faible pression concurrentielle
(18 lacunes dtectées dans des régions globalement denses)

PCA 1 Axis 2



Grphe 7 : Emplacement de ces lacunes numérotées sur la carte factorielle initiale

PCA 1 Axis 2

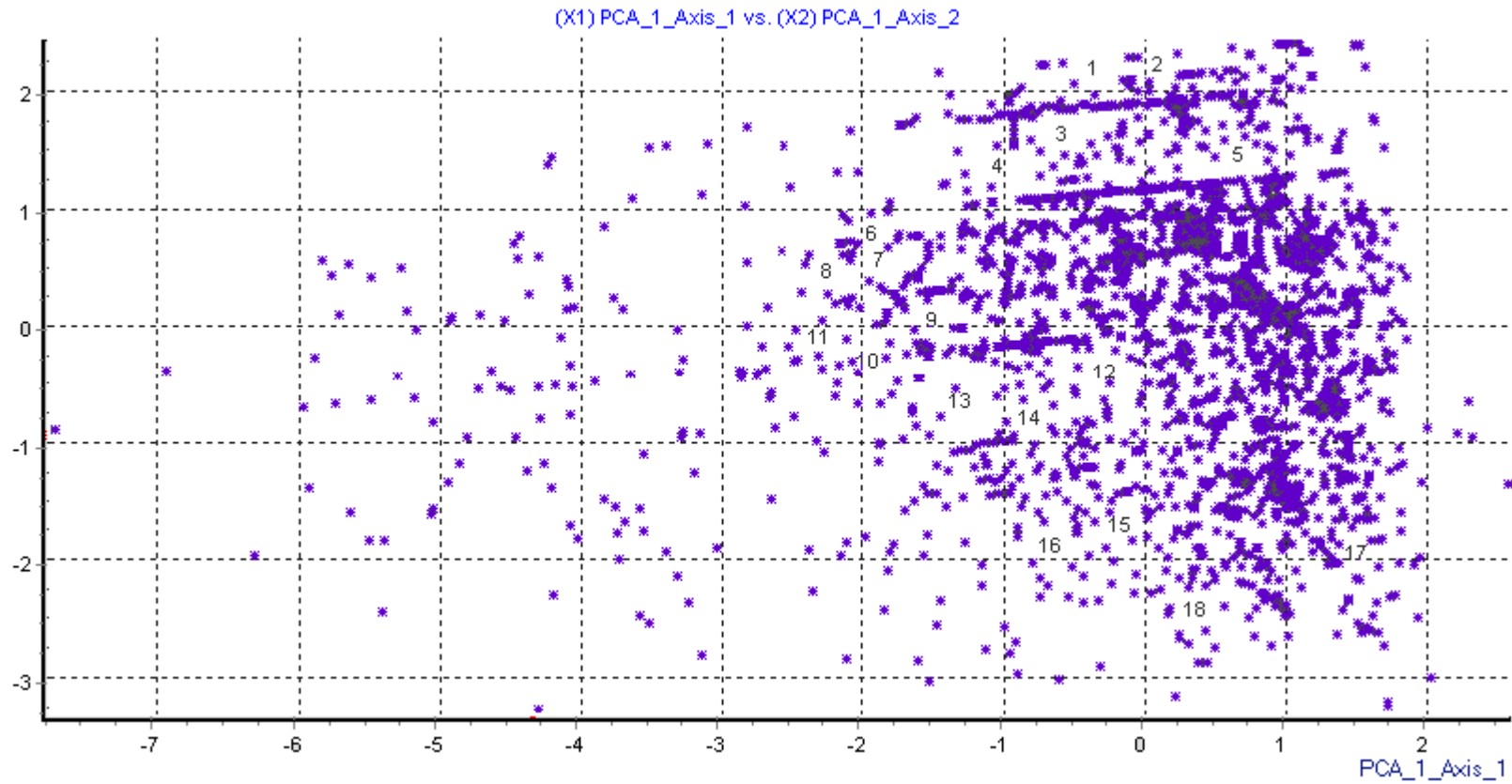


Tableau 1 : Enquêtes sur le processus de détermination des prix

Auteurs	Contraintes	Objectifs
Hall R.L. et Hitch C.J. (1939)	- coûts : full cost - concurrence pour ajuster la marge	
Earley J. (1956)	- coûts - demande : élasticité / prix - concurrence	- Marge bénéficiaire - Rentabilité des investissements
Fog B. (1960)	- coût marginal et full cost	- Maximum profit à long terme - Maximum unités vendues
Haynes W.W. (1962)	- coûts : Relation prix / volume - demande : prix d'acceptabilité - concurrence : relations leader / suiveur Eviter guerre des prix	
Kaplan A.D. Dirlam J.B. Lanzilotti R.F. (1958)	- coûts : Cost plus - concurrence	Ordre de priorité parmi les objectifs : Stabilité de la marge, Rentabilité des investissements, Part de marché
Pass C. (1971)		Rentabilité des investissements Part de marché
Hague D.C. (1971)		Maximum chiffre d'affaires Taux de rentabilité du capital
Davies J. Hughes S. (1975)	Coût complet. Méthode du "rate of return pricing".	Taux de marge bénéficiaire Rentabilité du capital Part de marché
Fabiani S. (2005)	Mark-up. Prix de la concurrence	

Tableau 2 : Facteurs externes – structure du marché et de la concurrence (pourcentages)										
	AI	BE	DE	ES	FR	IT	UU	NL	PT	Zone euro ⁽¹⁾
Marché principal du produit principal dans l'industrie										
Marché intérieur.....	69	55	78	85	64	73	58	72	67	73
Marché étranger.....	31	45	22	15	36	27	42	28	33	27
Principaux clients										
Autres entreprises.....	84	56	89	58	66	73	n.	n.	84	75
Consommateurs.....	9	40	7	39	30	25	n.	n.	13	21
Pouvoirs publics.....	7	4	4	3	4	2	n.	n.	3	3
Nature de la relation avec les clients ⁽²⁾										
Relation de long terme.....	81	78	57	86	54	98	85	n.	83	70
Relation occasionnelle.....	19	22	43	14	46	2	15	n.	17	30
Concurrence perçue ⁽³⁾										
Très faible.....	20	18	19	27	19	10	15	5	8	17
Faible.....	18	22	23	19	17	25	17	25	21	21
Forte.....	30	30	34	24	38	37	37	49	39	35
Très forte.....	32	30	24	20	25	29	31	72	32	26
Méthode de fixation des prix										
Mark-up.....	n.	46	73	52	40	42	n.	56	67	54
Fixe.....	n.	13	1	n.	n.	n.	n.	27	n.	n.
Variable.....	n.	33	69	n.	n.	n.	n.	30	n.	n.
Prix pratiqués par la concurrence.....	n.	36	17	27	38	32	n.	22	13	27
Autre méthode.....	n.	18	10	21	22	26	n.	21	21	18
Source Fabiani s. et al. (2005)										
(1) La moyenne de la zone euro a été calculée en pondérant les résultats des différents pays par leur part dans le PIB de la zone Euro										
(2) Pour BE, FR et IT, cette rubrique ne concerne que les relations avec d'autres entreprises										
(3) Mesurée à l'aide de l'importance que les participants attachent aux prix pratiqués par la concurrence dans la décision d'abaisser leur propre prix										

Tableau 3 – Description des 3 clusters de la classification hiérarchique ascendante

Cluster_HAC_1=c_hac_1				Description of "Cluster_HAC_1"				Cluster_HAC_1=c_hac_2				Cluster_HAC_1=c_hac_3			
Examples		[36,8 %] 778		Examples		[33,0 %] 697		Examples		[30,2 %] 639					
Att - Desc	Test value	Group	Overall	Att - Desc	Test value	Group	Overall	Att - Desc	Test value	Group	Overall				
Continuous attributes : Mean (StdDev)				Continuous attributes : Mean (StdDev)				Continuous attributes : Mean (StdDev)							
latitudeGRS80	32,2	48,87 (0,90)	46,75 (2,32)	PCA_1_Axis_2	22,9	0,85 (0,95)	0,00 (1,20)	longitudeGRS80	34,3	5,92 (1,47)	2,94 (2,62)				
PCA_1_Axis_3	13,5	0,41 (0,90)	0,00 (1,07)	PCA_1_Axis_4	12,3	0,34 (0,66)	0,00 (0,89)	PCA_1_Axis_4	23,7	0,69 (0,55)	0,00 (0,89)				
PCA_1_Axis_5	11	0,24 (0,73)	0,00 (0,77)	PCA_1_Axis_1	5,1	0,22 (1,15)	0,00 (1,38)	PCA_1_Axis_3	13,9	0,49 (0,98)	0,00 (1,07)				
PCA_1_Axis_1	4,3	0,17 (1,10)	0,00 (1,38)	PCA_1_Axis_5	0,7	0,02 (0,75)	0,00 (0,77)	Prix	9,5	24900,97	21533,13				
Km	3	1452,62	1305,35	Puissance	-0,9	116,39 (42,81)	117,60 (44,57)	Km	9,2	1833,34	1305,35				
Mois	0,4	7,20 (2,84)	7,17 (2,93)	Mois	-2,4	6,96 (3,10)	7,17 (2,93)	PCA_1_Axis_6	7,5	0,09 (0,43)	0,00 (0,37)				
PCA_1_Axis_6	-1,6	-0,02 (0,31)	0,00 (0,37)	Prix	-4,2	20146,02	21533,13	Puissance	5,7	126,01 (53,54)	117,60 (44,57)				
Puissance	-4,6	111,78 (36,23)	117,60 (44,57)	PCA_1_Axis_6	-5,7	-0,06 (0,35)	0,00 (0,37)	latitudeGRS80	2,4	46,93 (1,80)	46,75 (2,32)				
Prix	-5	20009,70	21533,13	Km	-12,1	656,91	1305,35	Mois	2,1	7,37 (2,85)	7,17 (2,93)				
PCA_1_Axis_2	-5,3	-0,18 (1,01)	0,00 (1,20)	longitudeGRS80	-19	1,39 (1,95)	2,94 (2,62)	PCA_1_Axis_1	-9,8	-0,45 (1,77)	0,00 (1,38)				
longitudeGRS80	-14,2	1,88 (1,73)	2,94 (2,62)	PCA_1_Axis_3	-27,4	-0,91 (0,67)	0,00 (1,07)	PCA_1_Axis_5	-12,2	-0,31 (0,73)	0,00 (0,77)				
PCA_1_Axis_4	-34,5	-0,87 (0,49)	0,00 (0,89)	latitudeGRS80	-35,4	44,20 (0,94)	46,75 (2,32)	PCA_1_Axis_2	-17,9	-0,71 (1,08)	0,00 (1,20)				
Discrete attributes : [Recall] Accuracy				Discrete attributes : [Recall] Accuracy				Discrete attributes : [Recall] Accuracy							
Marque=fiat	8,9 [75,0 %]	11,6	5,70%	Marque=seat	4,3 [61,2 %]	4,3	2,30%	Marque=volkswagen	10,1 [66,9 %]	15,5	7,00%				
Couleur=opaque	7,7 [100,0 %]	4,4	1,60%	Marque=citroen	4,1 [43,3 %]	18,5	14,10%	Marque=mercedes-	5,1 [63,8 %]	4,7	2,20%				
Marque=nissan	6,5 [63,8 %]	10,4	6,00%	Couleur=machine	3,2 [100,0 %]	0,7	0,20%	Marque=peugeot	4,9 [40,7 %]	24,4	18,10%				
Marque=lancia	5,4 [91,3 %]	2,7	1,10%	Couleur=antracyte	2,9 [100,0 %]	0,6	0,20%	Marque=land	4,7 [82,4 %]	2,2	0,80%				
Couleur=blanc	2,9 [47,7 %]	9,5	7,30%	Marque=renault	2,8 [40,1 %]	16,8	13,80%	Couleur=reflet	3,8 [88,9 %]	1,3	0,40%				
Couleur=metalisente	2,9 [100,0 %]	0,6	0,20%	Couleur=tissus	2,5 [75,0 %]	0,9	0,40%	Marque=porsche	3,5 [87,5 %]	1,1	0,40%				
Marque=alfaromeo	2,9 [60,0 %]	2,7	1,70%	Couleur=vert	2,5 [66,7 %]	1,1	0,60%	Marque=ford	3,3 [44,2 %]	7,8	5,30%				
Marque=honda	2,7 [54,7 %]	3,7	2,50%	Marque=toyota	2,5 [47,5 %]	4,2	2,90%	Marque=audi	3,1 [45,8 %]	5,9	3,90%				
Couleur=marron	2 [80,0 %]	0,5	0,20%	Marque=hyundai	2,3 [50,0 %]	2,9	1,90%	Couleur=argent	2,8 [43,7 %]	5,9	4,10%				
Couleur=tissus	-2,2 [0,0 %]	0,0	0,40%	Couleur=noir	2 [100,0 %]	0,3	0,10%	Couleur=obsidienne	2,6 [100,0 %]	0,5	0,10%				
Couleur=reflet	-2,3 [0,0 %]	0,0	0,40%	Couleur=argente	2 [100,0 %]	0,3	0,10%	Couleur=saphir	2,6 [100,0 %]	0,5	0,10%				
Marque=kia	-2,5 [22,4 %]	1,9	3,20%	Couleur=piston	2 [100,0 %]	0,3	0,10%	Couleur=spacegrau	2,6 [100,0 %]	0,5	0,10%				
Marque=ford	-2,5 [25,7 %]	3,7	5,30%	Couleur=clear	2 [100,0 %]	0,3	0,10%	Marque=bmw	2,5 [46,2 %]	3,8	2,50%				
Marque=bmw	-3 [17,3 %]	1,2	2,50%	Couleur=bright	2 [100,0 %]	0,3	0,10%	Couleur=feuille	2,1 [100,0 %]	0,3	0,10%				
Couleur=argent	-3 [21,8 %]	2,4	4,10%	Couleur=fer	2 [100,0 %]	0,3	0,10%	Couleur=sunlight	2,1 [100,0 %]	0,3	0,10%				
Marque=land	-3,2 [0,0 %]	0,0	0,80%	Couleur=toutes	2 [100,0 %]	0,3	0,10%	Couleur=platingrau	2,1 [100,0 %]	0,3	0,10%				
Marque=peugeot	-4,1 [27,7 %]	13,6	18,10%	Marque=porsche	-2 [0,0 %]	0,0	0,40%	Couleur=blanche	2,1 [100,0 %]	0,3	0,10%				
Marque=volkswagen	-6,3 [12,8 %]	2,4	7,00%	Marque=alfaromeo	-2,4 [14,3 %]	0,7	1,70%	Couleur=icy	2,1 [100,0 %]	0,3	0,10%				
				Marque=lancia	-2,5 [8,7 %]	0,3	1,10%	Couleur=orange	2,1 [100,0 %]	0,3	0,10%				
				Marque=mercedes-	-3 [12,8 %]	0,9	2,20%	Couleur=nocciola	-2,3 [0,0 %]	0,0	0,60%				
				Marque=fiat	-3,3 [19,2 %]	3,3	5,70%	Couleur=rouge	-2,8 [13,8 %]	1,3	2,70%				
				Marque=volkswagen	-3,4 [20,3 %]	4,3	7,00%	Marque=seat	-2,8 [12,2 %]	0,9	2,30%				
				Couleur=opaque	-4,1 [0,0 %]	0,0	1,60%	Marque=hyundai	-2,8 [10,0 %]	0,6	1,90%				
								Marque=toyota	-3 [13,1 %]	1,3	2,90%				
								Marque=lancia	-3,2 [0,0 %]	0,0	1,10%				
								Couleur=blanc	-3,6 [17,4 %]	4,2	7,30%				
								Marque=renault	-3,7 [20,9 %]	9,5	13,80%				
								Couleur=opaque	-3,9 [0,0 %]	0,0	1,60%				
								Marque=nissan	-5,9 [7,1 %]	1,4	6,00%				
								Marque=fiat	-6 [5,8 %]	1,1	5,70%				
								Marque=citroen	-6,1 [15,1 %]	7,0	14,10%				

Tableau 4 : Coordonnées des zones par rapport aux axes factoriels
et caractéristiques correspondantes des véhicules

Lacune	Coord. Facteur 1	Coord. Facteur 2	Prix	Puissance	Km	Mois
1	-0,36	2,25	24145	129	0	11
2	0,09	2,27	20876	115	0	11
3	-0,59	1,69	25858	136	0	10
4	-1,04	1,42	29111	149	0	9
5	0,65	1,51	16774	98	0	9
6	-1,93	0,84	35618	177	371	8
7	-1,88	0,60	35244	175	634	8
8	-2,25	0,51	37905	186	739	8
9	-1,50	0,10	32473	163	1195	7
10	-1,96	-0,26	35792	177	1592	7
11	-2,30	-0,06	38299	188	1367	7
12	-0,28	-0,35	23603	126	1691	7
13	-1,30	-0,62	31000	157	1992	6
14	-0,81	-0,75	27469	142	2138	6
15	-0,18	-1,67	22871	123	3160	5
16	-0,67	-1,85	26418	138	3360	4
17	1,50	-1,91	10599	72	3433	4
18	0,35	-2,40	18962	107	3972	3

Lacune	Coord. Facteur 1	Coord. Facteur 2	Prix (ordre croissant)	Puissance	Km	Mois
17	1,50	-1,91	10599	72	3433	4
5	0,65	1,51	16774	98	0	9
18	0,35	-2,40	18962	107	3972	3
2	0,09	2,27	20876	115	0	11
15	-0,18	-1,67	22871	123	3160	5
12	-0,28	-0,35	23603	126	1691	7
1	-0,36	2,25	24145	129	0	11
3	-0,59	1,69	25858	136	0	10
16	-0,67	-1,85	26418	138	3360	4
14	-0,81	-0,75	27469	142	2138	6
4	-1,04	1,42	29111	149	0	9
13	-1,30	-0,62	31000	157	1992	6
9	-1,50	0,10	32473	163	1195	7
7	-1,88	0,60	35244	175	634	8
6	-1,93	0,84	35618	177	371	8
10	-1,96	-0,26	35792	177	1592	7
8	-2,25	0,51	37905	186	739	8
11	-2,30	-0,06	38299	188	1367	7

Schéma 1

Algorithme général de décision en matière de prix

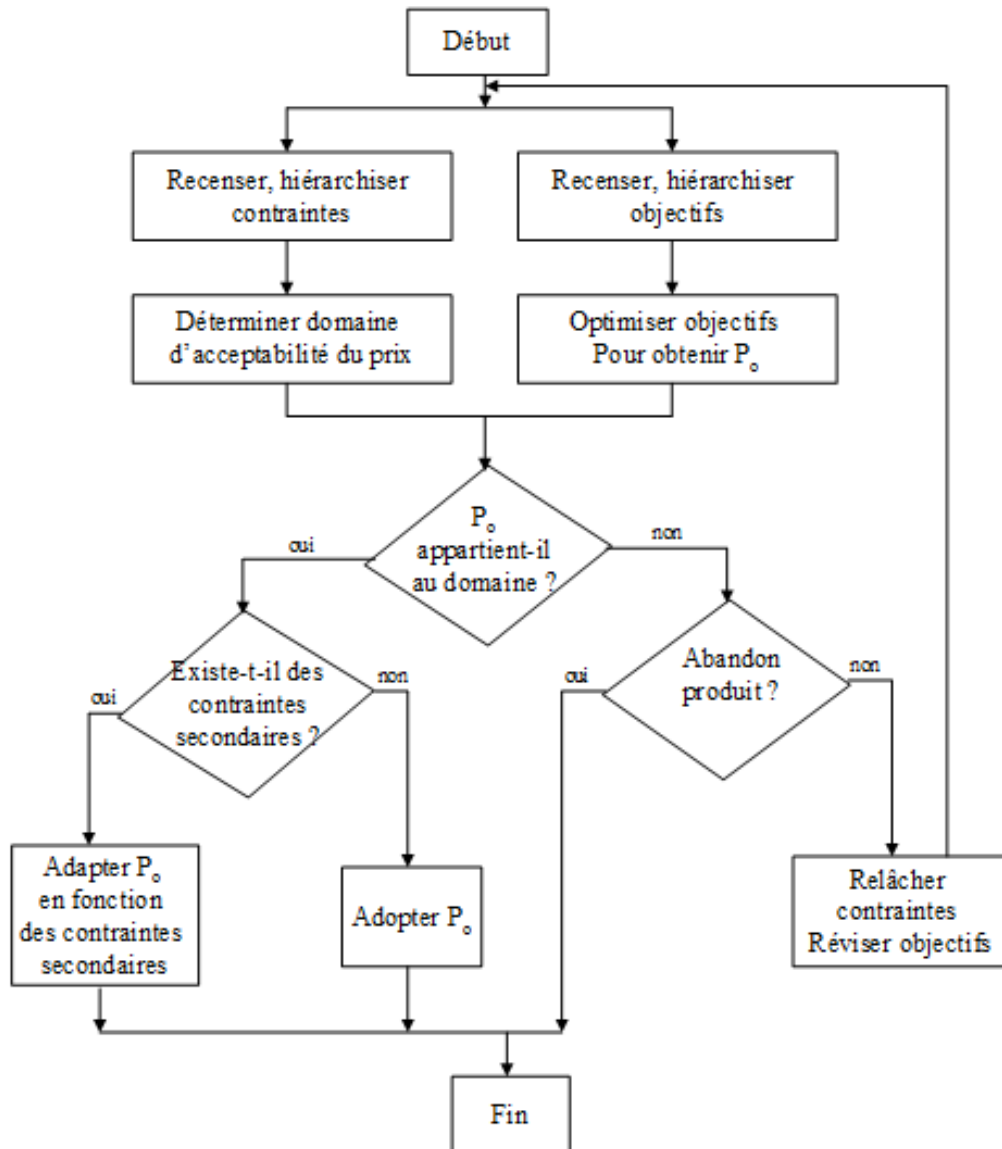


Schéma 2 : Algorithme de détermination du prix optimal

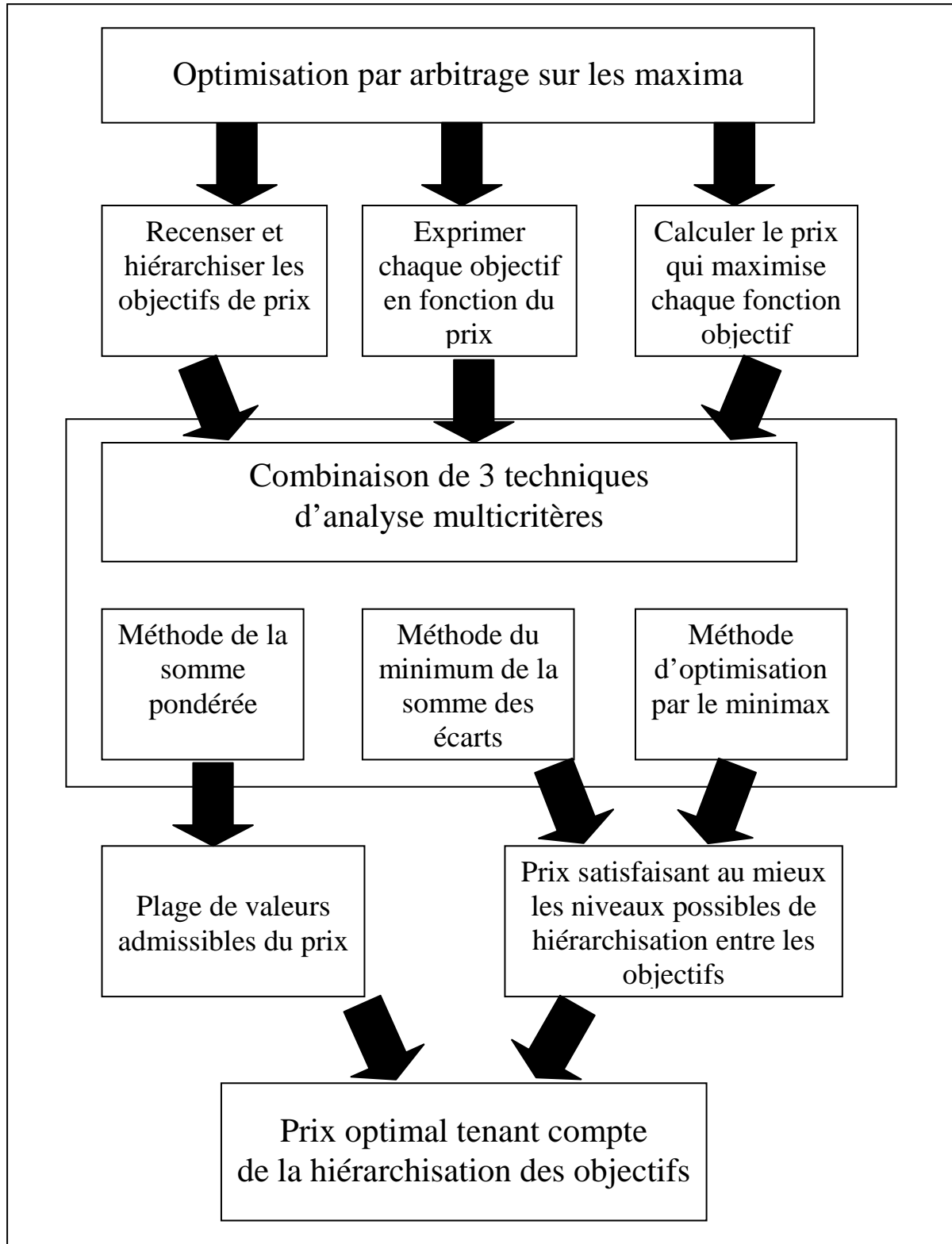
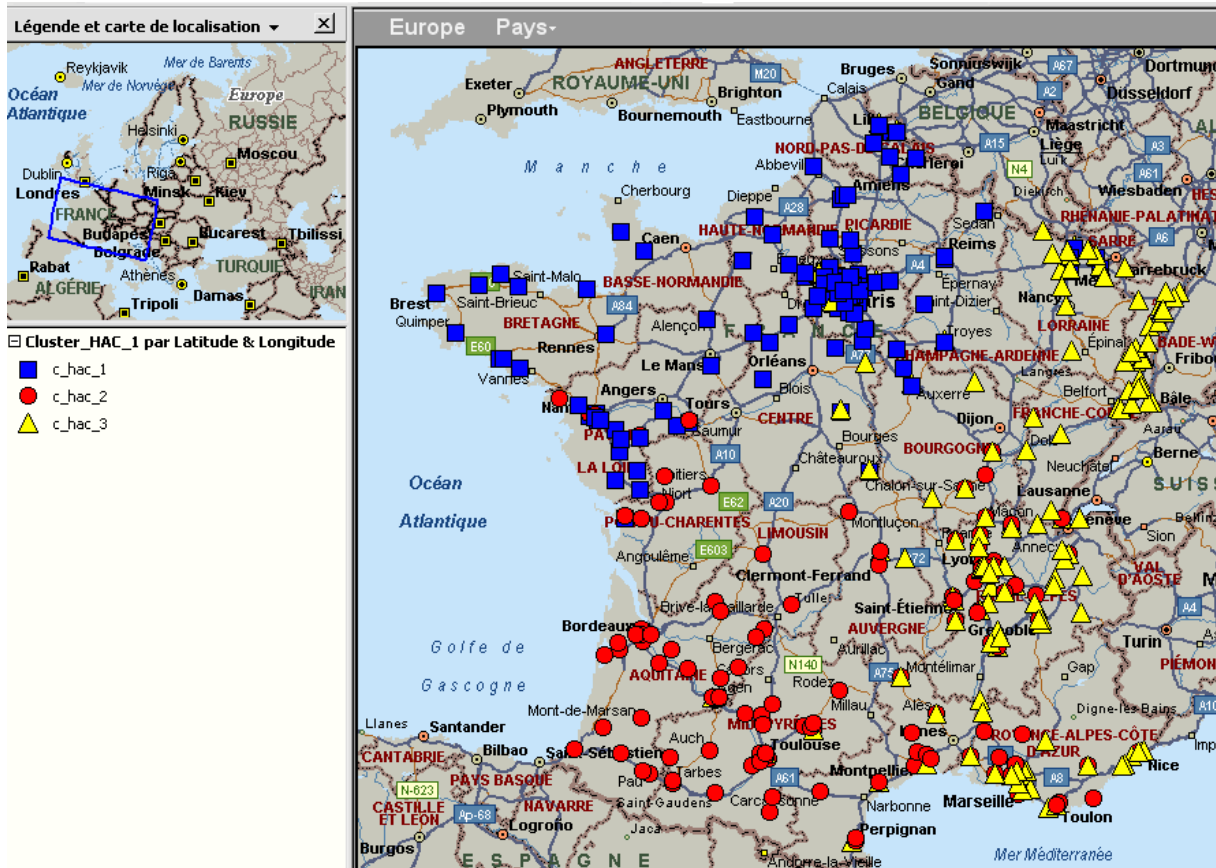


Schéma 3 : Représentation des trois clusters caractérisant les types de véhicules commercialisés



ANNEXE 1

Principes de morphologie mathématique

Le morphisme mathématique qui s'inspire de notions de topologie, de traitement du signal, de probabilités et de théorie des graphes comporte un grand nombre d'applications qui toutes relèvent du monde réel. Les domaines intéressés par cette technique sont très variés et l'on trouve par exemple la science des matériaux, la géologie, la biologie, la géographie, la robotique. Le point commun des champs d'applications possibles est que les données traitées sont variables dans un espace d'observation assez souvent supérieur ou égal à deux dimensions.

Le morphisme mathématique s'attache à analyser les informations dans leur globalité. Voilà pourquoi, cette science a beaucoup apporté, comme son nom l'indique, à la reconnaissance des formes (empreinte digitale; voix, écriture; structure des matériaux; structure géologique, cytologique ou génétique; circuit électronique) et donc au traitement des images provenant de diverses sources: enregistrement sonore, photographie, microscopie électronique ou optique, images satellites, images radar ou sonar, radiographie, échographie.

Segmentation des données

Evoquons certaines notions utiles sur les transformations morphologiques de base.

- ◆ Transformations Morphologiques de Base: dilatation - érosion - fermeture - ouverture - chapeau "haut-de-forme"

Les premiers filtres morphologiques sur des données discrètes ou continues datent de la fin des années 1970^{1 2}, mais c'est entre 1982 et 1986 que les Français Matheron et Serra ont établi une théorie de la morphologie mathématique possédant une véritable unité^{3 4}.

Voici les principes fondamentaux de cette théorie d'analyse des formes :

Soit X un ensemble connexe de données binaires d'une matrice (0 ou 1, point allumé ou éteint dans un espace 2D), une première transformation de base possible de cet ensemble est la

¹ MEYER F. (1978) *IIème Symposium Européen d'Analyse d'Images en Sciences des Matériaux, Biologie et Médecine*, 4-7 oct. 1977. Pract. Met., S8, p. 374, Caen, France.

² STERNBERG (1979) *Proc. 3rd Int. IEEE Comprac*, Chicago 1979.

³ SERRA J. (1982) *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press.

⁴ MATHERON G. (1982) Les Applications Idempotentes, *Rapport du Centre de Géostatistique et de Morphologie Mathématique n°743*, Ecole des Mines, Fontainebleau.

dilatation binaire⁵ qui a pour effet d'augmenter la surface totale de cet ensemble. Elle tend à connecter les parties disjointes et à lisser les contours.

Une autre transformation morphologique de base est l'érosion binaire⁶ qui lisse aussi la surface mais à l'inverse la réduit.

Pour obtenir des contours plus réguliers, il est possible de réaliser une succession d'érosion-dilatation c'est-à-dire qu'en partant de l'image initiale, on élimine tous les points de la forme considérée en contact en bas, en haut, à droite ou à gauche avec au moins un point n'appartenant pas à la dite forme (érosion). Seule, donc, restent les points de sa partie intérieure. Puis, on entoure chaque point frontière de la forme érodée de nouveaux points, à droite, à gauche, en haut, en bas (dilatation).

Si on considère au lieu de données binaires, des données réelles comme les fréquentations $f_{i,j}$ préalablement définies, alors on a un relief qui varie en tout point défini par ses coordonnées (i, j) selon la valeur $f_{i,j}$, (ensemble de valeurs représentées par la matrice $[f_{i,j}]$).

La dilatation ou l'érosion binaire peut être généralisée aux paramètres évoluant sur un éventail de données⁷ comme les fréquentations $f_{i,j}$: dans la transformation d'érosion, la valeur de chaque point est remplacée par la valeur la plus basse l'entourant à moins qu'elle n'ait la valeur la plus élevée parmi tous ses voisins. La dilatation est définie de la même manière, suivant le principe qu'une dilatation d'une forme est l'érosion de son complémentaire. Appliquée à de telles données, la dilatation a tendance à élargir les vallées et à abaisser les pics.

Les régions à valeurs maximales ont tendance à élargir leur surface et les régions à valeurs minimales décroissent. Dans le cas de l'érosion, les vallées sont élargies et les pics sont abaissés:

Les régions à valeurs minimales ont tendance à élargir leur surface et les régions à valeurs maximales décroissent.

La transformation morphologique de fermeture combine la dilatation et l'érosion (remplit les vallées sans transformer les pics).

On peut citer aussi la transformation morphologique d'ouverture qui est la succession, dans

⁵ MINKOWSKI H. (1903) *Mathematics Annals*, Vol. 57, p.447.

⁶ HADWIGER H. (1957) *Vorlesung Über Inhalt, Oberfläche und Isoperimetrie*, Springer Verlag, Berlin.

⁷ CHERMANT J.L. et COSTER M. (1989) *Précis d'Analyse d'Images*, Presses du CNRS.

cet ordre, d'une érosion et d'une dilatation de même taille. Enfin, la transformation morphologique du "chapeau haut-de-forme" est la soustraction des données de la matrice initiale $[f_{i,j}]$ aux données de la matrice fermée $[f^T_{i,j}]$. Elle constitue un filtre morphologique qui met donc en évidence les contours. Un exemple à la fin de ce paragraphe montre son utilisation pour délimiter les frontières d'une zone de chalandise.

La matrice résultat est faite de données binaires correspondant à une valeur de 1 si l'élément de matrice appartient à la frontière, et inversement à une valeur nulle.