

Représenter les croyances par des réseaux associatifs pour simuler la diffusion d'innovations

Samuel Thiriot^{†*} Jean-Daniel Kant[†]
thiriot@poleia.lip6.fr jean-daniel.kant@lip6.fr

[†]Laboratoire d'Informatique de Paris 6 (LIP6)
104 avenue du Président Kennedy
75016 Paris – France

*France Télécom R&D
4, rue du Clos-Courtel
BP 91226
35512 Cesson-Sévigné Cedex

Résumé

Le champ de la diffusion d'innovation étudie la propagation de nouvelles idées, opinions ou produits au sein d'une société. De nombreuses simulations multi-agents ont été construites pour étudier ce phénomène collectif, tant pour prédire la diffusion d'une innovation que pour mieux expliquer le processus sous-jacent. Pourtant, plusieurs questions soulevées dans la littérature restent sans réponse : les modèles actuels ne permettent pas d'expliquer l'échec du lancement d'un produit ni l'adoption d'offres liées. Afin d'améliorer ces résultats, nous proposons de représenter explicitement les croyances des consommateurs sur les innovations. Nous avons développé une formalisation des croyances et des messages sous forme de réseaux associatifs, ainsi que le modèle de communication associé. Nous illustrons cette approche en simulant la diffusion de l'iPod™.

Mots-clés : Simulation multi-agents, Modèles formels, Logique

Abstract

Diffusion of innovations studies how new ideas, opinions or products spread into a society. Existing models don't permit to study real-world cases like diffusion failure or diffusion of linked innovations. In this paper, we argue that representing the beliefs held by individuals about the innovation could help to tackle these problematics. We propose a formalization of beliefs and messages as associative networks, the processes used to manipulate these beliefs and a model of communication. This approach allows to study the social representations of innovations and to validate diffusion models against real data. Our approach is illustrated by a simulation of iPod™ diffusion.

Keywords: Multi-agents based Simulation, Formal Models, Logics

1 Pourquoi représenter les croyances ?

La diffusion d'innovations est un champ de recherche interdisciplinaire qui étudie la propagation de nouvelles idées, opinions ou produits au sein d'une société [Val95]. La diffusion a été définie comme le processus par lequel une innovation est communiquée par des canaux, dans le temps, parmi les membres d'un système social [Rog03, p. 11]. Plusieurs modèles ont été conçus pour étudier ce processus, avec des objectifs différents. Les *modèles explicatifs* explorent le lien entre comportement individuel et dynamique collective. La plupart de ces modèles représentent pour chaque agent le résultat du processus cognitif : décision (adoption ou rejet) ou jugement (attitude, opinion, utilité perçue [EF95], etc.). Par exemple, les modèles de seuil proposés par Granovetter [Gra78] et appliqués en diffusion d'innovation (par ex [DHA05]) supposent que l'individu est "contaminé" par le choix de ses voisins. Bien que cette contamination soit en pratique liée à la fois à des facteurs informatifs et normatifs, on décide de ne représenter que le résultat de ces processus. D'autres modèles représentent explicitement les connaissances de chaque individu, notamment dans les travaux sur les cascades informationnelles (par exemple [BHW92]). Même dans ce cas, les connaissances de l'individu sont représentées sous forme simple, comme des valeurs binaires ou réelles, ou un vecteur de ces valeurs. Les *modèles prédictifs* cherchent à prévoir quel sera le taux d'adoption d'une innovation. Le plus connu - et le plus utilisé dans l'industrie - de ces modèles est le modèle agrégatif de Bass [Bas69]. Il permet de reproduire la courbe de diffusion classique en forme de "S". Sur la base des premières adoptions du produit, le mo-

dèle de Bass projette la courbe d'adoption future.

Malgré les nombreux modèles centrés sur la diffusion d'innovations, plusieurs questions (soulevées notamment par Edwards Rogers [Rog03]) restent en suspens. Tout d'abord, les modèles existants manquent de pouvoir explicatif : ils ne permettent pas d'expliquer l'échec de la diffusion, ni la diffusion d'innovations liées. Pour Rogers, le processus fondamental qui sous-tend la diffusion est l'accès à l'information : une innovation est adoptée sur ce que la population en comprend. Une innovation peut être rejetée car les messages sont mal compris, ou sont incompatibles avec les connaissances préalables de la population. Par ailleurs, la plupart des nouveaux produits lancés sur un marché sont en fait des évolutions de produits existants, et non de réelles innovations. Dans ce cas les connaissances à acquérir pour comprendre les avantages de l'innovation sont moindres, ce qui accélère la diffusion. Aucun de ces processus ne peut être modélisé sans représenter explicitement les connaissances des individus à propos de l'innovation étudiée.

D'autre part, les modèles actuels n'offrent qu'un faible pouvoir prédictif. Le modèle de Bass est utilisé couramment dans l'industrie après les premières ventes du produit, pour prévoir les ventes futures. Néanmoins, la véritable problématique pour une institution ou une firme est de déterminer *avant lancement* - c'est-à-dire avant d'investir en développement, production et communication - si une innovation va rencontrer un accueil favorable. Cette analyse, qui porte sur les connaissances et les perceptions subjectives des consommateurs, est concrètement menée grâce à des études qualitatives : *focus groups* ou entretiens. Ici encore, il semble que la prédiction de la diffusion d'un produit ne puisse se faire sans l'analyse des connaissances des individus.

Notre principal objectif est de pouvoir étudier des cas concrets de diffusion d'innovation. Dans cet article, nous étudions comment un modélisateur pourrait représenter les connaissances des individus. Ce modèle doit être suffisamment complexe pour être représentatif des phénomènes réels, mais aussi suffisamment simple pour permettre la validation et la manipulation du modèle. Nous proposons un modèle de représentation des connaissances sous forme de réseau associatif, ainsi qu'un processus de révision des croyances. Nous illustrons cette approche en simulant la diffusion de l'iPod™.

2 Modèle

Nous modélisons la population de consommateurs à l'aide d'un système multi-agents. Les interactions entre ces agents sont informationnelles. Chaque agent représente un consommateur dans la vie réelle. Il dispose de sa propre mémoire qui évolue avec son expérience locale. Les agents sont hétérogènes dans leurs connaissances initiales, ainsi que dans leurs règles comportementales de jugement et de décision.

2.1 Connaissances individuelles

Les réseaux associatifs ont été largement utilisés pour représenter les connaissances, tant en Intelligence Artificielle (réseaux bayésiens) qu'en sciences humaines (graphes de proximité pour visualiser les représentations sociales). Récemment, la théorie marketing dite des chaînes cognitives (*Means-ends Chains Theory* ou MCT) [RG88] a proposé de formaliser la perception subjective des produits comme des chaînes qui lient les attributs du produit aux conséquences perçues par l'individu (voir exemple figure 1). La MCT démontre qu'une telle représentation est pertinente pour représenter les perceptions subjectives, et que ces perceptions peuvent être collectées par entretiens ou questionnaires. Les messages tels que les publicités peuvent également être formalisées comme des chaînes [RGH95] (exemple figures 3,4). Notre formalisation des connaissances s'inspire et enrichit le principe de chaînes cognitives proposé par la MCT.

Les réseaux associatifs permettent de représenter divers types de connaissances : des informations liées au produit lui-même (comme les liens 2 à 7 sur la figure 1) ou les conséquences fonctionnelles perçues pour le produit (liens 11 et 13). Ce type d'information est reçu par les consommateurs grâce à la publicité, à l'expérience ou aux avis rapportés par des amis. Les connaissances privées portent sur le consommateur lui-même. Par exemple, le lien "vitesse → gain de temps" formalise la connaissance du client "si la connexion est plus rapide, je vais gagner du temps". Ce lien est potentiellement utilisable pour tout produit technologique. On peut également représenter des heuristiques, telles que "prix élevé → bonne qualité". Les connaissances privées sont des données d'initialisation fournies par le modélisateur. Enfin, certaines connaissances ne sont ni antérieures ni apportées par l'innovation elle-même, mais

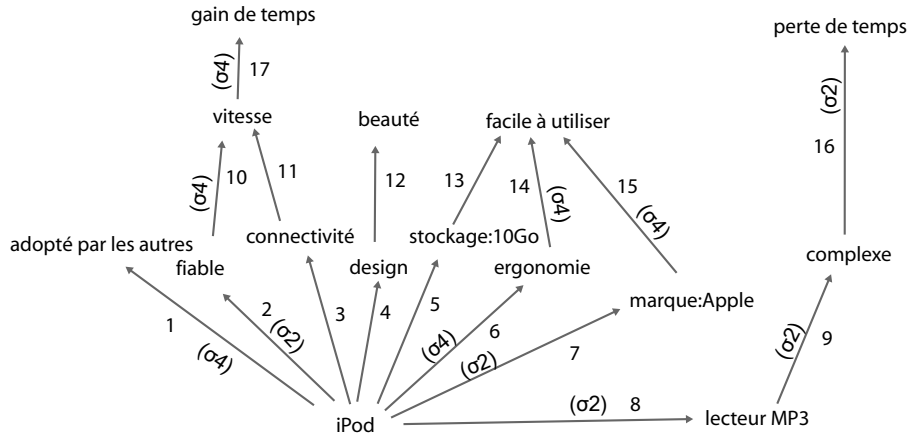


FIG. 1 – Exemple de réseau associatif individuel récupéré par interview pour l’iPod™(l’étude portait sur les avantages et inconvénients de l’iPod). Pour améliorer la lisibilité, seuls quelques niveaux de crédibilités sont mentionnés. σ_1 représente le niveau “pas de crédibilité”, σ_2 signifie “plausible” et σ_4 “expérience personnelle”

sont générées dynamiquement par chaque agent sur la base de l’information disponible localement. C’est le cas par exemple de la croyance “ce produit est adopté par les autres”. Dans le modèle, cette information peut être générée par des règles computationnelles simples édictées par le modélisateur.

Du point de vue du modélisateur, les concepts existant dans le modèle constituent un ensemble fini \mathcal{C} , créé sur la base des informations collectées ou d’hypothèses formulées par des experts. Il peut arriver que deux ou plusieurs concepts soient incompatibles, c’est-à-dire qu’un agent ne peut croire plusieurs d’entre eux en même temps pour le même objet social. Comme cela est fait dans la théorie de l’évidence, nous définissons des cadres d’exclusivité notés $\Theta^{\mathcal{X}}$, avec $\mathcal{X} \subset \mathcal{C}$. Par exemple, on pourrait constituer des cadres d’exclusivité pour (solide, fragile) ou (bonne connectivité, mauvaise connectivité). Formellement, les connaissances sont représentées comme des associations orientées entre des concepts. On parlera toujours de connaissance dans le sens “croyance”, c’est-à-dire qu’une connaissance peut être fausse ou subjective. Mathématiquement, une croyance est une relation binaire dans \mathcal{C}^2 . $C_1 b_{\sigma}^{a,t} C_2$ signifie qu’à l’instant t , l’agent a accorde une crédibilité σ au fait que C_1 et C_2 sont liés. Dans le modèle, une association représente la croyance. L’ignorance est représentée par l’absence de lien. Croire qu’un fait est faux est modélisé par la croyance dans un concept contradictoire. Chaque individu possède son propre ensemble de croyance, que nous appellerons IAN (pour *Individual Associative*

Network).

Un ou plusieurs concepts sont considérés comme objets d’intérêt par les agents \mathcal{A} : les agents parlent de ces objets, ils veulent acquérir plus d’information pour ces objets, et peuvent formuler des jugements ou prendre des décisions les concernant. Nous réutilisons un terme provenant de la psychologie sociale [Mos98] pour les nommer : ce sont les *objets sociaux* \mathcal{O} , avec $\mathcal{O} \subset \mathcal{C}$. Dans le cas de la diffusion d’innovation, les objets sociaux sont les innovations. Le sous-arbre de l’IAN d’un agent a qui a pour racine l’objet social o est la *représentation* de cet objet notée $R_o^{a,t}$. Si une représentation est partagée par plusieurs agents, elle devient une *représentation sociale* dans l’acceptation psychosociale du terme, notée $SR_o^{\mathcal{X},t}$ avec $o \in \mathcal{O}$, $\mathcal{X} \subset \mathcal{A}$.

2.2 Révision des connaissances

La psychologie sociale a longuement étudié la communication persuasive [Mos98]. La force de persuasion d’une communication dépend de propriétés de l’émetteur telles que sa crédibilité, son expertise ou le fait qu’elle soit ou non intéressée. D’autres facteurs interviennent comme la structure de l’argumentation. Aucun modèle formel ne permet de prévoir quantitativement la crédibilité d’une information perçue. Néanmoins, plusieurs formalismes ont été proposés pour représenter les croyances et leur force. Il s’agit essentiellement des réseaux bayésiens et des fonctions de croyances (voir [Sme98] pour une comparaison de ces approches). Malheureu-

sement, ces modèles sont normatifs et mènent à des résultats incompatibles avec la réalité observable. Ils nécessitent une quantification de la force de croyance (sous forme de probabilité ou de masse de croyance) difficile à établir expérimentalement. Nous avons donc renoncé à utiliser ces formalismes qui auraient rendu notre modèle plus complexe, moins représentatif et moins manipulable. Nous proposons une modélisation centrée sur les propriétés qualitatives des connaissances.

Les sources d'information sont considérées comme plus ou moins crédibles par les sujets. Globalement, l'expérience personnelle est plus crédible que l'expérience de quelqu'un d'autre, elle-même plus forte qu'une publicité. Nous définissons un ensemble ordonné Σ qui énumère les différents niveaux de support (en d'autres termes : crédibilité, force, certitude, confiance, révisabilité). Chaque source d'information est catégorisée par les agents dans l'un de ces niveaux. L'ensemble Σ est défini de façon opérationnelle en fonction des observations et des besoins propres à chaque modèle. Nos travaux actuels nous ont menés à la catégorisation suivante : *pas de crédibilité* est utilisé pour la publicité, *plausible* pour l'avis d'un inconnu, *expérience indirecte* pour un avis argumenté d'un individu qui a expérimenté l'innovation. Le niveau *expérience personnelle* est le plus fort niveau de croyance.

	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4
σ_1 (pas de crédibilité)	0.9	0	0	0
σ_2 (plausible)	1	0.9	0.01	0.001
σ_3 (expérience indirecte)	1	1	0.9	0.001
σ_4 (expérience personnelle)	1	1	1	0.9

TAB. 1 – probabilité de réviser une croyance de crédibilité $\sigma_{old} \in \Sigma$ (en haut) en fonction du niveau de crédibilité σ_{new} (à gauche) de la nouvelle information.

On peut considérer qu'une nouvelle information avec une forte crédibilité remplace une connaissance plus faible. La plupart du temps, un message à faible crédibilité ne va pas provoquer la révision d'une croyance plus forte. Néanmoins, il arrive qu'une information peu crédible remplace une information forte, parce que les individus acceptent de réviser les anciennes croyances, peuvent être convaincus par

une bonne argumentation ou diverses autres raisons. C'est pourquoi nous modélisons la révision de croyance sous forme probabiliste : la probabilité de révision $p(reviser|\sigma_{old}, \sigma_{new})$ dépend de la force de la croyance pré-existante σ_{old} et de la force de la nouvelle information σ_{new} . Nous avons construit cette probabilité (Tab 1) sur la base d'informations qualitatives présentes dans la littérature psychosociale et marketing. Ainsi une information avec une faible crédibilité a très peu de chance de remplacer une ancienne croyance ; néanmoins avec le temps, la probabilité cumulée de révision devient de plus en plus importante. Ce modèle est plus facile à valider par observation des sujets que les formalismes actuels.

2.3 Récupération en mémoire

La récupération des informations stockées pour un objet o revient à construire la représentation qui est contenue dans l'IAN. Récupérer une représentation est un processus de diffusion d'activation : on commence par l'objet social o et l'on parcourt les liens du sous-graphe. Nous considérons que *la force d'un concept correspond à la force du plus faible lien de la chaîne qui connecte l'objet o à ce concept*. Par exemple sur la figure 1, l'activation du concept "gain de temps" pour l'objet social "iPod" est "plausible", qui est le plus faible niveau de la chaîne (croyance n°2). Si un concept reçoit plusieurs niveaux d'activation, le plus élevé est conservé (ce qui correspond à un noeud MAX en théorie de l'évidence ou à un OR en logique). Par exemple, sur la même figure, "facile à utiliser" a pour niveau d'activation "expérience personnelle". A la fin de ce processus, la représentation contient ce qui est cru à propos de l'objet et le niveau de crédibilité de chaque croyance.

2.4 Communication

Comme cela a été démontré précédemment dans les simulations individu-centrées, la structure sociale a un impact important sur la dynamique des opinions et des croyances. Un modèle de communication trop simplifié, tel que la rencontre aléatoire des individus ou un automate cellulaire, mène à une dynamique des croyances très différente. C'est pourquoi nous représentons de façon détaillée les canaux de communication qui transmettent les messages, les messages eux-mêmes ainsi que les sujets de conversation (objets sociaux) qui sont évoqués lors des échanges informationnels.

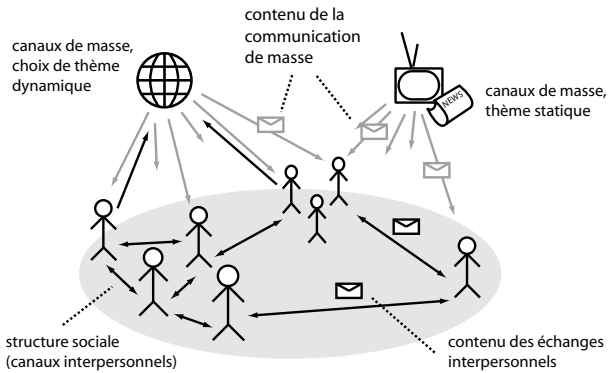


FIG. 2 – Communication représentée dans le modèle

Un canal est un support de communication qui transmet des messages depuis une source d'information jusqu'à une audience. Historiquement, on distinguait les *médias de masse*, contrôlés par les firmes ou les institutions, des *canaux interpersonnels* qui correspondaient à des échanges sincères issus des individus eux-mêmes. Ce schéma est aujourd'hui bouleversé : des avis individuels laissés sur des sites spécialisés ou des forums peuvent atteindre une grande audience, tandis que les communications interpersonnelles peuvent être influencées par des individus payés par des firmes pour propager des avis positifs. Pour tenir compte de cette évolution, nous proposons de catégoriser les canaux en fonction de la taille de leur audience et du choix du sujet abordé. Dans le cas d'un canal à choix interactif, chaque agent peut choisir le sujet évoqué, ce qui permet de modéliser la recherche active d'information à propos d'une innovation.

choix de thème	audience	
	large	réduite
interactif	forum de discussions, recherche sur le web	discussion face-à-face
statique	presse, publicité, expérience directe	weblogs

TAB. 2 – catégorisation des canaux de communication

Un canal de masse permet d'atteindre une grande audience. Le niveau d'exposition d'un agent fixe la probabilité qu'il reçoive un message par ce canal. Un canal interpersonnel présente un lien social entre deux ou plusieurs individus susceptibles d'échanger des informations. Le niveau d'exposition représente alors la probabilité que les agents discutent. Un canal à thème statique transmet toujours de l'information

"l'iPod d'Apple (20Go) est sans doute l'un des meilleurs lecteurs MP3 disponibles. l'iPod supporte jusqu'à un débit de 320kps, et accepte même les fichiers wave pour une qualité maximale... le seul inconvénient est la qualité sonore des écouteurs livrés.

L'iPod supporte les dossiers, a une excellente connectivité qui inclut l'USB 2.0 et un support Firewire. La batterie a une autonomie de 8 à 10 eures. Le produit n'a PAS de support pour les fichiers WMA protégés."

FIG. 3 – Un avis d'utilisateur laissé sur un site web

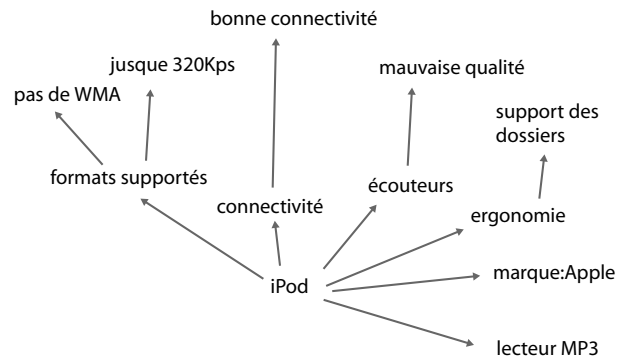


FIG. 4 – Transcription de l'avis (fig 3) en TAN

mation fixée par l'émetteur. Un canal à thème interactif demande à chaque agent quels sont ses sujets d'intérêt (les objets sociaux qui sont saillants pour cet agent), et choisit le sujet de discussion aléatoirement parmi l'union des ensembles saillants des agents.

2.5 Messages

Chaque transmission d'information est considérée comme un message portant sur un objet social. Un message est envoyé par une source d'information par l'intermédiaire d'un canal ; l'audience du message est déterminée par le canal lui-même. Une campagne de communication est un ensemble de messages envoyés pendant une période donnée par certains canaux de communication.

Le contenu d'un message est un TAN (pour *Transmissible Associative Network*), qui est constitué d'un ensemble de liens associatifs (voir la figure 4). Un TAN contient typiquement la représentation d'un objet social, voire plusieurs représentations dans le cas de campagnes de communication croisées. Les TAN transmis par canaux à thème statique (les publicités, par exemple) sont fournis par le modélisateur sur

la base des messages qui ont réellement été envoyés ou des campagnes de communication qui seront prévues. Les TAN provenant des agents eux-mêmes sont construits pendant l'exécution, sur la base de la représentation de l'objet par chaque agent.

2.6 Agents

Dans le modèle de diffusion d'innovation, un agent consommateur représente une unité d'adoption. Chaque agent contient un IAN et une liste des objets sociaux actuellement saillants. Tout agent est lié à un profil qui permet de modéliser des segments parmi la population. Ce profil contient l'exposition à chaque canal de communication de masse, les connaissances préexistantes de chaque agent (*background knowledge*), ainsi que les règles de production de croyances sur la base d'informations locales. Par exemple, la croyance qu'une innovation a été adoptée par les autres (croyance n°1 sur la figure 1) est créée par un seuil sur le nombre de personnes rencontrées qui possèdent le produit. Le profil contient également des éléments liés au modèle comportemental de l'agent, comme les règles d'évaluation de l'attractivité et d'adoption d'un produit.

La définition du comportement de l'agent est hors du cadre de cet article. Le modélisateur peut implémenter le modèle comportemental de son choix, sur la base des informations mises à disposition par le modèle : croyance et crédibilité de chaque croyance. Plusieurs modèles basés sur les croyances permettent de modéliser la formation d'attitude, de jugement ou de choix, comme la théorie du comportement planifié (Theory of Planned Behaviour [Ajz91]), le modèle de Fishbein ou tout autre modèle multicritère.

A titre d'exemple, nous utilisons actuellement le modèle comportemental présenté sur la figure 5. Des fonctions multicritères ont été développées pour calculer l'attractivité et l'adoption.

Grâce à ces seules fonctions, le processus d'achat suivant est observé : (1) l'agent est mis au courant de l'existence de l'innovation et de quelques propriétés essentielles (2) si l'information disponible est suffisamment attractive, l'objet devient saillant pour l'agent. Il entre en phase de recherche d'information (3) si l'agent estime qu'il a suffisamment d'informations pour décider, il adopte ou non (4) au cours de l'utilisation du produit, l'agent reçoit avec l'expérience de nouvelles informations susceptibles de le faire

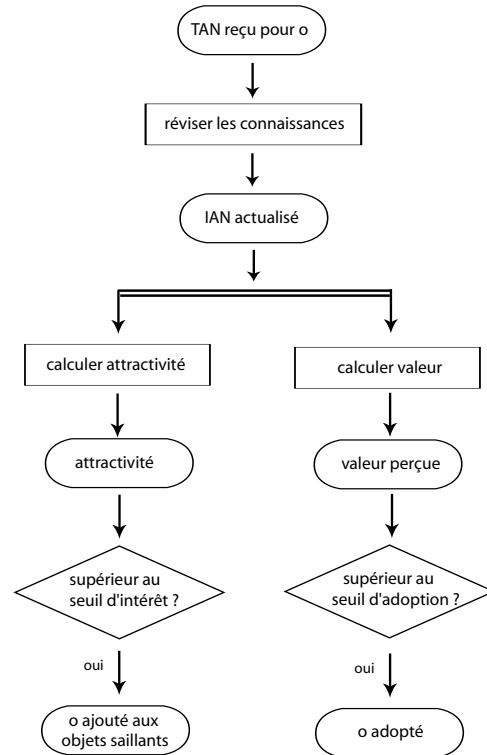


FIG. 5 – Exemple de processus comportemental

participer au bouche-à-oreille.

3 Application à l'iPod™

Cette simulation illustre l'utilisation de réseaux associatifs dans la simulation d'une diffusion d'innovation. Le modèle est implémenté à l'aide de la plateforme de simulation multi-agents Repast. Dans cette simulation à temps discret, chaque pas de temps correspond à une semaine.

3.1 Collecte de données

Les données utilisées sont issues de l'analyse par MCT de l'iPod™ [RSG06]. Nous avons complété cette analyse basée sur des entretiens par l'étude de 172 avis laissés sur des sites spécialisés par des utilisateurs du produit. Ces données sont utilisées pour déterminer le contenu des messages interpersonnels échangés (comme montré en figures 3 et 4), ainsi que pour ajouter des connaissances préexistantes pour les profils d'agents. Les réseaux associatifs permettent de modéliser très facilement ces connaissances a priori ; par exemple en figure 1, les liens 9 et 16 représentent les peurs des profils non-technophiles à propos des innovations techno-

logiques : ils pensent que ces produits sont difficiles à utiliser et entraînent une perte de temps.

Les informations véhiculées par les canaux de masse pendant la diffusion de l'iPod sont disponibles publiquement, et sont transcrites facilement sous forme de TAN. Nous avons identifié les canaux de masse à thème statique suivants : publicité à la télévision, presse généraliste et spécialisée, expérience avec le produit. Nous avons fixé l'exposition à chaque média pour chaque profil sur la base de statistiques générales sur l'impact de la publicité télévisuelle et de la lecture la presse. La structure sociale est un *small-world* (maillage régulier enrichi de raccourcis comme proposé dans [NW99]). Le niveau d'exposition aux canaux interpersonnels, c'est-à-dire à quelle fréquence les individus se rencontrent à chaque tour, est fixé d'après une étude sur le bouche à oreille [Car06] qui quantifie environ 15 conversations par semaine.

3.2 Profil des agents

Nous utilisons la segmentation générale admise en diffusion d'innovation [Rog03, p. 279]. Les *innovateurs* (2.5%) aiment ce qui est nouveau, amusant, ils aiment passer du temps à découvrir de nouveaux produits. Ils connaissent les termes technologiques, ce qui leur permet de comprendre les messages complexes. Ils parlent plus facilement des innovations. Ils aiment être les seuls à posséder un produit, et une innovation déjà répandue perd de sa valeur pour eux. Les *adoptants précoces* (13.5%) lisent occasionnellement la presse spécialisée. Ils apprécient les nouveautés, mais les étudient attentivement avant d'acheter. La *majorité précoce* (34%) aime être à la mode. Ses membres ont déjà de bonnes connaissances des technologies, mais préfèrent avoir un avis d'autres adoptants avant d'investir. La *majorité tardive* (34%) a peu d'intérêt pour la nouveauté, et préfère examiner d'un point de vue pragmatique l'intérêt d'une offre. Ils ont une représentation négative des produits technologiques ; ils doivent être rassurés par des retours d'expérience positifs des autres individus. Enfin les *retardataires* (16%) ont une faible exposition à la presse, un faible intérêt pour la nouveauté, et récupèrent l'essentiel de leurs connaissances par des communications interpersonnelles.

Les fonctions d'évaluation d'attractivité ou d'adoption peuvent utiliser des croyances de plus ou moins haut niveau. Par exemple, la

fonction d'évaluation d'attractivité de la majorité tardive est une pondération de "beauté" et "à la mode". Un produit utilisé par les autres, et esthétique, va systématiquement attirer l'attention. La fonction d'achat de la même catégorie se base sur les croyances "gagner du temps" et "facile d'utilisation". En fonction des catégories, des niveaux de crédibilité plus ou moins importants sont exigés pour l'adoption. Les innovateurs croient l'information qui vient de la presse, tandis que la majorité précoce exige au moins un retour d'expérience indirect. La compréhension ou incompréhension du message est implicitement modélisée par le choix des concepts sur lesquels se basent les fonctions. En choisissant des concepts de haut niveau, on exige en pratique que l'individu connaisse les liens qui lient l'objet aux concepts, c'est-à-dire que l'on exige que l'individu comprenne les avantages des attributs de l'innovation. Dans notre modèle, un individu qui ne sait pas qu'une grande capacité de stockage permet de gagner du temps ne va pas valoriser l'information brute. Ce phénomène est le reflet exact de la réalité ; les publicitaires ont communiqué sur l'iPod™ avec le slogan "1000 chansons dans votre poche", qui permet de passer d'une information souvent incomprise (la taille en gigaoctets du disque dur) à un avantage pratique compris par tous.

3.3 Simulation

Le graphe 6 donne un exemple de résultat du modèle. De premières informations sont disséminées dans la presse spécialisée pour annoncer le produit avant sa sortie ; ces messages sont essentiellement perçus par les innovateurs, qui commencent déjà à en parler autour d'eux. Lors du lancement du produit, les innovateurs déjà au courant des caractéristiques de l'iPod l'adoptent presque aussitôt. Les premiers tests apparaissent dans la presse, ce qui permet aux adoptants précoces d'adopter le produit. Simultanément une campagne de communication à large échelle est lancée, qui éveille l'intérêt pour le produit (on notera que les campagnes d'affiches ou de publicité TV ne détaillent pas les caractéristiques techniques, mais jouent essentiellement sur une image qui rend l'objet saillant et provoque la recherche d'information). La majorité précoce, intéressée par ce qui est à la mode, enquête sur le produit et l'adopte peu à peu. Cette majorité partage par bouche-à-oreille des informations considérées comme crédibles par les segments suivants, qui adoptent à leur tour.

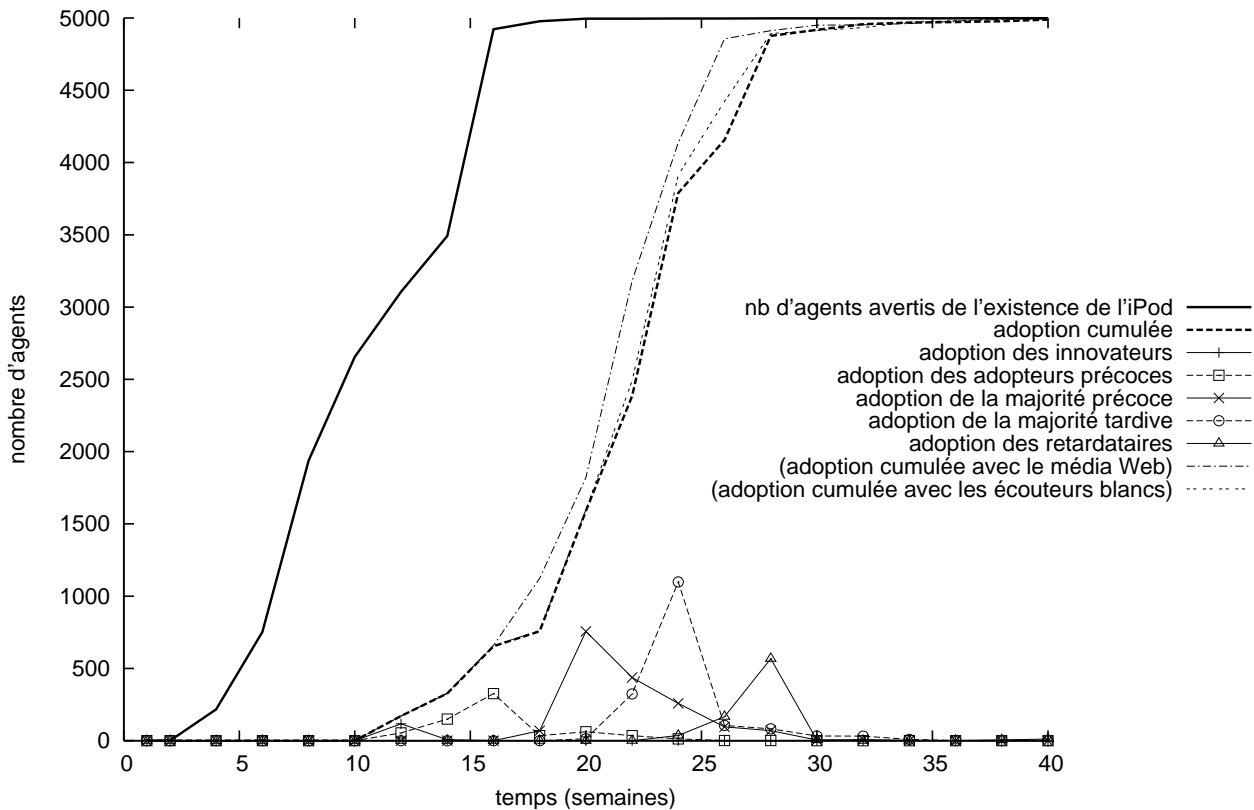


FIG. 6 – Simulation de la diffusion de l'iPod™ dans une population de 5000 agents

Nous avons ajouté sur ce graphe la diffusion de l'iPod dans le cas où le web est disponible pour rechercher des informations. Ce média est formalisé comme un média à large échelle. Comme chaque individu peut effectuer une recherche sur un sujet de son choix, il s'agit d'un canal à choix de sujet interactif. Cette propriété permet à une grande partie de la population d'obtenir des informations considérées comme fiables (avis crédible car basé sur l'expérience indirecte). La courbe indique une diffusion plus rapide à partir du moment où les gens sont au courant de l'innovation.

3.4 Observations

Comment améliorer la diffusion ? Dans ce modèle, comme dans la réalité, la publicité ne peut que modifier l'*awareness* (le fait d'être au courant de l'existence de l'innovation) ; le bouche-à-oreille, par sa crédibilité, est nettement plus efficace. L'idéal est donc de favoriser le bouche à oreille autour de l'innovation. Il s'agit d'améliorer l'attractivité du produit, donc ses caractéristiques peut-être non essentielles mais qui stimulent l'intérêt. On remarque d'ailleurs que cette tendance va croissante sur

les marchés actuels, avec la multiplication des fonctions "gadget". L'idéal pour que le bouche-à-oreille s'entretienne est de diffuser régulièrement de nouvelles informations ; si celles-ci surviennent alors que certains individus sont déjà curieux d'avoir des informations sur l'innovation, la nouvelle information se diffuse plus rapidement.

Des *représentations sociales* apparaissent dans le modèle pendant la diffusion d'information. Dans le cas où les informations introduites dans le modèle ne sont pas contradictoires, les représentations sociales correspondent simplement à des niveaux de connaissance différents, directement liés à l'exposition aux différents canaux d'informations (figures 7 et 8). Par contre, si des informations se contredisent, on constate l'apparition de représentations opposées parmi la population ; celles-ci se propagent si l'information est suffisamment intéressante pour provoquer du bouche-à-oreille. Une représentation parvient à se maintenir si la proportion d'informations en sa faveur est plus importante que les informations opposées. Ainsi, si l'expérience quotidienne d'un produit est satisfaisante, l'individu ne va pas réviser ses croyances, même si

le produit a une mauvaise image dans le reste de la population.

On constate bien un effet d'apprentissage dû aux interactions informationnelles. Cet apprentissage ne porte pas uniquement sur les caractéristiques du produit mais aussi sur les avantages perçus dans ces caractéristiques. Par exemple, dans cette simulation, les adoptants précoces sont supposés connaître les critères sur lesquels juger les lecteurs MP3 : l'autonomie est souvent trop faible, ainsi que la capacité de stockage, ce qui provoque des préoccupations supplémentaires pour gérer régulièrement le rechargement et le renouvellement des titres sur l'appareil. Les adoptants tardifs sont initialisés sans ces connaissances ; toutefois, les échanges interpersonnels leur apportent ce type de critère, les rendant aptes à mieux choisir un produit.

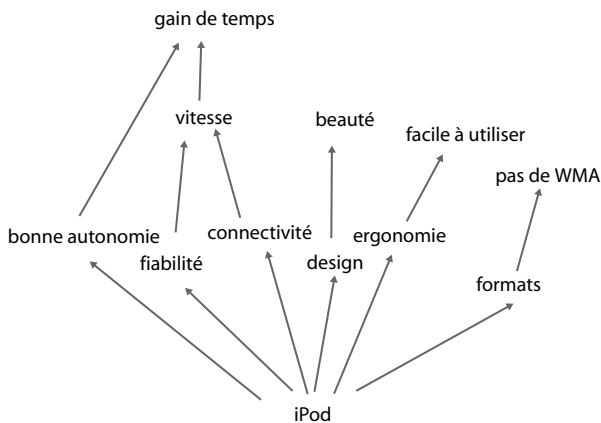


FIG. 7 – Exemple de représentation sociale. Cette représentation $SR_{iPod}^{adoptants\ précoces,22}$ est partagée par les adoptants précoces qui ont déjà eu une expérience avec l'iPod™.

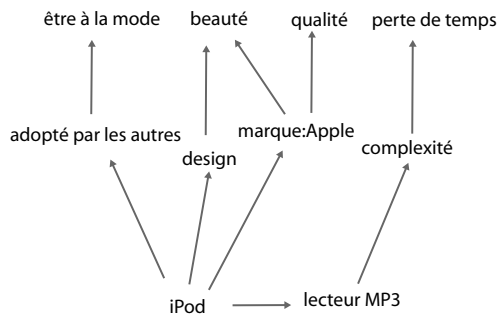


FIG. 8 – La représentation sociale $SR_{iPod}^{majorité\ tardive,22}$ est partagée par les agents qui ont juste acquis de l'information par la publicité, et sont conscient de l'adoption massive par d'autres personnes.

L'influence de l'observabilité du produit, l'un des paramètres de la diffusion d'innovation annoncé par Rogers, est évidente dans ce modèle. L'un des facteurs de réussite de l'iPod™ est le choix de la couleur blanche pour ses écouteurs. Il est aisé d'intégrer ce phénomène au modèle. Tout d'abord, les publicités télévisuelles ou par affiches insistent fortement sur la couleur de l'écouteur ; un individu exposé à la publicité mémorise donc ce lien. Ensuite, une structure sociale parallèle dense (graphe aléatoire) est ajoutée pour représenter les échanges d'informations visuelles entre les individus. En croisant quelqu'un qui utilise le produit, un individu averti peut reconnaître l'iPod™ aux écouteurs. Les conséquences sont doubles : d'une part, l'apparition plus rapide de la croyance que beaucoup d'autres personnes ont adopté, ce qui incite les imitateurs à adopter. D'autre part, le produit est ramené à l'esprit (dans les objets saillants), pouvant provoquer à nouveau une adoption. La figure 6 montre que l'adoption est plus rapide, particulièrement pour les segments qui ont tendance à imiter les autres.

4 Discussion

La représentation explicite des croyances individuelles permet de construire des simulations plus représentatives de phénomènes réels. Le modèle concorde avec les observations qualitatives formulées par le domaine de la diffusion d'innovations. La versatilité du concept d'association permet de traduire facilement les représentations du produit, les connaissances générales sur les catégories de produit, les heuristiques, les perceptions subjectives, etc. Ce modèle est facilement lisible et manipulable, y compris par des non-experts.

Nous avons évoqué en introduction le manque de pouvoir explicatif et prédictif des modèles actuels. Les apports de notre modèle résident essentiellement dans la représentation des connaissances. L'échec de la diffusion d'un produit est expliqué par l'incompatibilité avec les valeurs des individus et l'incompréhension des messages. De même, la diffusion accélérée d'innovations liées émerge spontanément, car les connaissances nécessaires à l'adoption de ces innovations sont apprises simultanément. Le gain en prédictivité découle des paramètres exigés par le modèle : il est indispensable de connaître les connaissances préalables de la population, ainsi que les informations qu'elle va acquérir par la publicité et les communi-

cations interpersonnelles. Ces paramètres imposent l'étude des facteurs déterminants de la diffusion [Rog03, p. 15] : comment l'innovation sera-t-elle perçue ? Quelles sont les connaissances indispensables à la perception des messages ? La population aura-t-elle tendance à parler de cette innovation ? Comment les consommateurs pourront-ils trouver de l'information relative à l'innovation ?

Le modèle étant plus complexe, il exige également des connaissances plus approfondies sur le fonctionnement des sociétés humaines. Plusieurs parties du modèle ont fait l'objet d'hypothèses qui sont plausibles au regard de la littérature disponible, mais n'ont pas été individuellement validées. Ainsi les motivations qui poussent à discuter d'une innovation, la structure sociale, ou certains éléments comportementaux, nécessiteraient-ils des études plus poussées.

Nous travaillons actuellement sur deux axes : les protocoles d'enquête qui permettent de collecter les réseaux de connaissance d'une part, et l'étude de la dynamique du système de l'autre.

Références

- [Ajz91] Icek Ajzen. The theory of planned behavior. *Organizational behavior and Human Decision Processes*, 50 :179–211, 1991.
- [Bas69] Frank M. Bass. A new product growth for model consumer durables. *Management Science*, 15(5) :215–227, January 1969.
- [BHW92] S. Bikhchandani, D. Hirshleifer, and I. Welch. A theory of fads, fashion, custom, and cultural change as informational cascades. *Journal of Political Economy*, 100(5) :992–1026, 1992.
- [Car06] W. J. Carl. What's all the buzz about ? everyday communication and the relational basis of word-of-mouth and buzz marketing practices. *Management Communication Quarterly*, 19(4) :601–634, 2006.
- [DHA05] Guillaume Deffuant, Sylvie Huet, and Frédéric Amblard. An individual-based model of innovation diffusion mixing social value and individual benefit. *American Journal of Sociology*, 110 :1041–1069, 2005.
- [EF95] Glenn Ellison and Drew Fudenberg. Word-of-mouth communication and social learning. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(1) :93–125, Feb 1995.
- [Gra78] M. Granovetter. Threshold models of collective behavior. *American Journal of Sociology*, 83 :1360–1380, 1978.
- [Mos98] Serge Moscovici. *Psychologie Sociale*. Presses Universitaires de France, 7th edition, 1998.
- [NW99] M. E. J. Newman and D. J. Watts. Renormalization group analysis of the small-world network model. *Physics Letters A*, 263 :341–346, 1999.
- [RG88] Thomas J. Reynolds and Jonathan Gutman. Laddering theory, method, analysis, and interpretation. *Journal of Advertising Research*, pages 11–31, 1988.
- [RGH95] Thomas J. Reynolds, Charles E. Gengler, and Daniel J. Howard. A means-end analysis of brand persuasion through advertising. *International Journal of Research in Marketing*, 12 :257–266, 1995.
- [Rog03] Everett M Rogers. *Diffusion of Innovations*. New York : Free Press, 5th edition, 2003.
- [RSG06] Alexander E. Reppel, Isabelle Szminin, and Thorsten Gruber. The ipod phenomenon : identifying a market leader's secrets through qualitative marketing research. *Journal of Product and Brand Management*, 15(4) :239–249, 2006.
- [Sme98] Ph. Smets. *Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems*, volume 1, chapter Probability, Possibility, Belief : Which and Where ?, pages 1–24. Kluwer, Dordrecht, 1998.
- [Val95] T. W. Valente. *Network models of the diffusion of information*. Hampton Press Inc., Cresskill : NJ, 1995.