

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
CENTRE REGIONAL ASSOCIE DE NANTES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir
l'UE « Information et Communication pour l'ingénieur »
en INFORMATIQUE

par

LEBRETON Florent

E-Brainstorming fondé sur les agents intelligents

Soutenu le 17 juin 2008

JURY

PRESIDENT : M. PICOULEAU

MEMBRES : M. BRIAND, M. LASTENNET

SUJET DU MÉMOIRE

E-Brainstorming fondé sur les agents

Agent-based E-Brainstorming

Proposé par M. Henri BRIAND (henri.briand@univ-nantes.fr)

L'E-Brainstorming est une forme de brainstorming qui utilise la communication électronique pour remplacer la communication verbale.

L'E-Brainstorming emploie des logiciels pour rassembler des idées et les partager pour encourager une collaboration plus rapide.

L'étude cherche à mieux comprendre les capacités humaines à générer des idées et à concevoir une architecture et un mécanisme d'inférence incorporés dans des agents intelligents afin de réaliser les objectifs.

Vous présenterez ce système et donnerez les avantages et les inconvénients.

Référence

YUAN S., CHEN Y., 2008. Semantic Ideation Learning for Agent-Based E-Brainstorming. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(2), 261-275.

disponible à l'adresse : <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1340083.1340198&coll=GUIDE&dl=GUIDE>

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION.....	1
2	CRÉATIVITÉ & BRAINSTORMING.....	2
2.1	Concepts.....	2
2.2	Mécanismes cognitifs et sociaux.....	3
2.3	Limites et blocages.....	5
3	E-BRAINSTORMING : LE BRAINSTORMING ÉLECTRONIQUE.....	7
3.1	Concepts.....	7
3.2	Approches et solutions.....	7
3.3	Avantages.....	10
3.4	Inconvénients.....	11
4	LES AGENTS INTELLIGENTS.....	12
4.1	Définitions.....	12
4.2	Caractéristiques d'un agent.....	12
4.3	Structure d'un agent.....	13
4.4	Domaines d'applications.....	16
4.5	Systèmes multi-agents.....	16
5	E-BRAINSTORMING FONDÉ SUR LES AGENTS INTELLIGENTS.....	18
5.1	Principe.....	18
5.2	Première approche.....	18
5.3	Présentation de travaux.....	21
5.3.1	Semantic Ideation Learning for Agent-based E-Brainstorming.....	21
5.3.2	VIBRANT : Virtual Brainstorming.....	26
5.3.3	Idea Storming Cube.....	30
5.4	Avantages.....	33
5.5	Difficultés et limites.....	34
5.6	Perspectives et ouvertures.....	34
6	CONCLUSION.....	36

TABLE DES ILLUSTRATIONS ET DES TABLEAUX

Illustrations

Figure 1 : Un outil e-brainstorming de recherche adapté de GALLUPE et al. (1991)8 (d'après BUISINE et al., 2007)	
Figure 2 : Interface client du logiciel de brainstorming « Brainstorm »9 (d'après KRATSCHEMER et KAUFMANN, 2002)	
Figure 3 : Classification de l'information à propos d'un sujet S donné à une personne P.....19 (adapté et traduit, d'après NISHIMOTO et al., 1996)	
Figure 4 : CBDS - Architecture du système et environnement de communication des agents.....22 (d'après YUAN et CHEN, 2008)	
Figure 5 : Modélisation des connaissances d'un participant sur le sujet « Les transports ».....24 (partiel, d'après YUAN et CHEN, 2008)	
Figure 6 : Architecture du système VIBRANT.....27 (d'après Wang et al., 2006b)	
Figure 7 : Interface du logiciel de brainstorming « Idea Storming Cube ».....31 (d'après HUANG et al., 2008)	
Figure 8 : Les champs d'idées des utilisateurs et le champ simulé par l'AAM.....32 (d'après HUANG et al., 2008)	

Tableaux

Tableau I : Instances de relations d'association exécutables par le mécanisme d'inférence.....25 (traduit, d'après YUAN et CHEN, 2008)	
---	--

1 INTRODUCTION

Les outils d'aide à la créativité constituent un domaine à part entière dans le monde du logiciel. Leur objectif est de fournir aux utilisateurs un support pour rendre plus efficaces et plus productives leurs activités liées à la créativité.

En effet, dans un environnement économique en mutation, les grandes entreprises ont conscience que l'innovation est un enjeu clé de leur prospérité et de leur pérennité. L'apparition d'outils leur permettant de soutenir les travaux de leurs chercheurs, ingénieurs, responsables marketing et autres collaborateurs est un atout précieux. L'univers de l'enseignement est aussi friand de ce type d'outils car ils permettent de mettre en place de nouvelles méthodes d'apprentissage personnalisées, intuitives et interactives.

Le domaine des logiciels d'aide à la créativité est vaste. Cette étude se concentre sur les outils supportant un processus de créativité particulier appelé le *brainstorming*, activité visant à favoriser la production d'idées originales au sein d'un groupe de travail. Cette technique est très utilisée en entreprise et beaucoup d'outils ont été développés pour la moderniser. Relativement basiques dans leurs premières années, les logiciels de *brainstorming* électronique (*e-brainstorming*) mûrissent et se perfectionnent. Une nouvelle génération dont l'innovation est d'embarquer des agents intelligents, une technologie empruntée à l'intelligence artificielle, est en cours de développement. L'objectif est ici de présenter et d'évaluer ces solutions et d'en identifier les avantages et les inconvénients.

Pour bien appréhender cette étude, il sera nécessaire de préciser les notions de créativité et de *brainstorming*, concepts provenant du domaine des sciences humaines, et fondamentaux pour la conception des outils étudiés. Dans un second temps, les logiciels classiques d'*e-brainstorming* (*i.e.* non fondés sur les agents intelligents) seront présentés. La troisième partie consistera en une introduction aux agents intelligents qui permettra de cerner les possibilités que cette technologie offre à l'évolution de l'*e-brainstorming*. Les fondations posées, nous pourrons nous concentrer sur les solutions *e-brainstorming* basées sur les agents intelligents. Le coeur de cette partie sera l'étude de trois travaux de recherche proposant des approches différentes et qui semblent représentatifs de l'état de l'art. A la lumière de ces réalisations, une synthèse présentant les avantages et les inconvénients des logiciels *e-brainstorming* sera dressée. Enfin, quelques conjectures sur les perspectives d'évolution de ces solutions seront proposées en conclusion.

2 CRÉATIVITÉ & BRAINSTORMING

Il serait vain de tenter de comprendre, et a fortiori d'évaluer, un outil conçu pour supporter une activité humaine complexe telle que la créativité sans en avoir assimilé les notions de base. Pour cela, il faut s'intéresser, d'une part, aux définitions et aux origines de ces concepts, d'autre part, aux mécanismes cognitifs et sociaux que ces activités mettent en jeu, et enfin, aux limites et aux difficultés qu'elles peuvent rencontrer.

2.1 Concepts

La créativité. Le terme « créativité » couvre un champ très vaste et peut se référer à des concepts et des entités très différents (CSIKSZENTMIHALYI, 1996). Cependant, selon LUBART (2003), certains auteurs proposent une définition qui semble consensuelle :

*« La créativité est la capacité à réaliser une production qui soit à la fois nouvelle et adaptée au contexte dans lequel elle se manifeste. [...] Par définition, une production nouvelle est originale et imprévue. [...] Elle doit également être adaptée, c'est-à-dire qu'elle doit satisfaire différentes contraintes liées aux situations dans lesquelles se trouvent les personnes. »
(LUBART, 2003)*

Depuis les années 1980, une approche multi-variée de la créativité a été développée. Plusieurs théories sont proposées mais toutes convergent en ce point : la créativité requiert une combinaison particulière de facteurs concernant l'individu et le contexte dans lequel il évolue. LUBART propose une classification de ces facteurs en quatre catégories : les facteurs cognitifs (intelligence, connaissance), les facteurs conatifs (motivation, personnalité, ...), les facteurs émotionnels et les facteurs environnementaux. Cette notion d'approche multi-variée est très importante dans la recherche d'un mécanisme artificiel capable de participer à une production créative.

CSIKSZENTMIHALYI (1996), dont les contributions ont été très influentes, a proposé une autre approche qui décrit un environnement créatif comme un système à trois composants : le domaine (ensemble de règles et de procédures symboliques comme les mathématiques ou la musique), le milieu (individus qui jouent le rôle de gardien d'un domaine particulier et qui décident d'inclure ou non une nouvelle idée dans ce domaine) et l'individu. Beaucoup d'études pour concevoir des solutions d'aide à la créativité, en particulier d'e-*brainstorming* se sont basées sur cette théorie.

Plusieurs modèles de processus créatifs ont été mis au point. Il convient de présenter celui qui nous intéresse pour la suite de l'étude, le *brainstorming*.

Le brainstorming. Pour améliorer la créativité de groupe, beaucoup d'organisations ont recours à la technique du *brainstorming*. En français, le *brainstorming* se dit « remue-méninges » mais le mot *brainstorming* est si bien entré dans les moeurs que nous l'adopterons dans la suite du document. Ce terme a été introduit dans les années 1930 par Alex OSBORN (1963). Il peut être défini comme un processus de groupe ayant pour but de stimuler la production d'idées. L'objectif d'une session de brainstorming est de proposer un maximum d'idées originales en un minimum de temps. Le processus est divisé en deux phases principales distinctes : la phase de production d'idées (dite de la « pensée divergente » ou « pensée créative ») et la phase d'évaluation des idées (dite de la « pensée convergente »). Pour que la première phase soit efficace, OSBORN préconise de respecter quatre règles :

- la critique est proscrite (pas de jugement des idées);
- la réflexion « en roue libre » est bienvenue (l'imagination est source d'originalité);
- la quantité est attendue (plus il y a d'idées, plus il y a de chances d'avoir de bonnes idées);
- les associations et les combinaisons d'idées entre participants sont recherchées.

Pour encourager au respect de ces règles, une session de brainstorming est souvent menée par un animateur qui ne participe pas à la discussion.

Enfin, certains chercheurs proposent une classification des activités de brainstorming en fonction de leur objectif. Dans leurs travaux, WANG *et al.* (2006b) considèrent par exemple trois types de brainstorming :

- le brainstorming pour la génération d'idées;
- le brainstorming pour la résolution de problèmes;
- le brainstorming pour l'apprentissage par investigation (« *processus d'apprentissage par exploration du monde naturel ou matériel, conduisant l'apprenant à se poser des questions et faire des découvertes dans la recherche de nouvelles compréhensions* » (LATTION, 2005)).

2.2 Mécanismes cognitifs et sociaux

La simplicité du brainstorming en a fait un outil de choix pour les managers en entreprise. Mais d'un point de vue des sciences humaines, le brainstorming est en fait une activité extrêmement sophistiquée. En effet, si

proposer une idée et « rebondir » sur celles des autres dans une discussion nous est totalement naturel, cela n'en cache pas moins des mécanismes mentaux et sociaux d'une grande complexité. La compréhension de ces mécanismes, qu'on ne pourra qu'introduire dans cette étude, est un réel enjeu dans la recherche d'un système informatique capable de les imiter.

Au niveau de l'individu, les mécanismes principaux sont des processus de traitement de l'information, qui constituent ses capacités intellectuelles à mener une réflexion et à avancer vers la résolution d'un problème à partir des informations qu'il a à sa disposition. LUBART (2003) donne quelques clés permettant de comprendre les mécanismes les plus importants dans le cadre d'une session de brainstorming.

Pensée divergente. « *La pensée divergente est un processus permettant de rechercher de manière pluridirectionnelle de nombreuses idées ou réponses à partir d'un simple point de départ* ». La pensée divergente est une clé de l'efficacité du brainstorming. Les quatre règles définies par OSBORN et exposées dans la partie précédente visent à encourager la pensée divergente pour rendre plus efficace le brainstorming.

Comparaison sélective. « *La comparaison sélective est la capacité à observer les similitudes entre des domaines différents éclairant le problème. Dans ce cadre, on utilise les analogies et les métaphores, souvent considérées comme un point de départ pour la pensée créative.* ». Ce mécanisme est très important dans la recherche de la créativité car il permet d'aborder un problème sous différents angles.

Flexibilité. « *La flexibilité est l'aptitude à appréhender un seul objet, une seule idée, sous des angles différents, la sensibilité au changement ainsi que la capacité à se dégager d'une idée initiale pour explorer de nouvelles pistes.* ». Elle permet de trouver des idées et des pistes variées dans la recherche de solutions à un problème. Elle favorise grandement la pensée divergente.

Combinaison sélective. « *La combinaison sélective est la capacité à joindre deux éléments d'information qui, réunis, mènent à une nouvelle idée.* ». OSBORN la place à la base du brainstorming, elle fait d'ailleurs partie des quatre règles qui doivent régir une session de brainstorming. Dans un travail de groupe, il faut pouvoir trouver de nouvelles idées en combinant celles des autres participants.

Nous n'avons fait que parcourir quelques mécanismes mentaux qui participent au processus de réflexion d'un individu. Ils sont cependant prépondérants pour la construction d'un agent intelligent capable d'imiter ce processus humain.

L'autre axe important du processus de brainstorming est l'effet de groupe. Selon OSBORN, si les quatre règles qu'il propose sont respectées, le brainstorming engendre une synergie qui augmente la quantité et la qualité des idées produites.

Synergie. La synergie existe quand l'expression d'une idée d'un participant déclenche une nouvelle idée chez un autre participant, qui, sans ce stimulus, ne l'aurait pas eue. Elle résulte en partie de la capacité de combinaison sélective des participants.

Dans le cadre du brainstorming, cette synergie a aussi pour but de favoriser la pensée divergente des participants. En effet, il est difficile pour un individu d'élargir son champ de pensée et d'explorer de nouvelles pistes sans qu'il soit stimulé par des idées venant de l'extérieur. Dans leur théorie sur la production d'idées dans une réflexion de groupe (« *Bounded Ideation Theory*»), BRIGGS et REINING (2007) proposent un paramètre appelé la limite cognitive (« *cognitive boundary* ») qui décrit ce phénomène.

Limite cognitive. A cause du manque de stimuli externes activant de nouvelles parties de la mémoire du groupe, les participants sont confinés dans leur champ de pensée et proposent des contributions de plus en plus souvent similaires aux contributions précédentes au fil de la session de brainstorming.

Les aspects sociaux du brainstorming sont importants. Ils doivent absolument être pris en compte dans la conception d'un outil pour préserver et accentuer la synergie du groupe.

2.3 Limites et blocages

Bien que la technique du brainstorming puisse se vanter d'une très bonne notoriété dans le monde professionnel, elle reste critiquée par les spécialistes en sciences humaines et peine à prouver son efficacité. Un des piliers du brainstorming est l'hypothèse émise par OSBORN (1963), que la stimulation du travail de groupe augmente le nombre et la qualité des idées émises. Cette hypothèse est réfutée par plus de vingt études qui comparent les performances de sessions de brainstorming menées par des groupes réels et par des groupes nominaux (*i.e.* en cumulant les idées de chaque individu travaillant seul) (DIEHL et STROEBE, 1987 ; STROEBE et NIJSTAD, 2003).

En effet, DIEHL et STROEBE recensent plusieurs facteurs qui dégradent l'efficacité d'une session de brainstorming. En premier lieu, le fait que les participants doivent énoncer leurs idées chacun leur tour peut poser certains problèmes. D'une part, il est facile d'oublier une idée en attendant son tour de parole. D'autre part, il est difficile de réfléchir tout en écoutant les propositions des autres participants.

Ensuite, on peut craindre une passivité éventuelle d'un ou plusieurs participants qui peuvent se reposer sur l'activité des autres pour accomplir la tâche. Ce risque s'accroît d'ailleurs avec la taille du groupe qui rend plus difficilement identifiables les contributions respectives des individus, source de motivation.

Enfin, l'appréhension d'être évalué peut décourager certains participants de proposer leurs idées, même si la consigne de ne juger dans un premier temps aucune proposition a été clairement énoncée. Cette appréhension est naturelle et peut s'accroître dans des situations professionnelles, notamment quand les participants ont des niveaux hiérarchiques différents dans l'entreprise.

En outre, les performances d'un brainstorming tendent à diminuer au fil de la session. La fatigue et la déconcentration des participants et la tendance à penser de plus en plus souvent aux idées déjà émises ralentissent la production de nouvelles idées (WANG *et al.*, 2007).

Pour finir, la taille du groupe de travail a une importance capitale sur les performances. En effet, un brainstorming avec un groupe restreint ne permet pas d'avoir une synergie correcte et à l'inverse, un groupe trop important est plus impacté par les facteurs de dégradation du brainstorming décrits ci-dessus. La taille optimale d'un groupe est très difficile à définir et dépend du contexte, des personnes et de la tâche à accomplir.

Comme nous l'avons dit, en dépit de ses défauts, le brainstorming reste une technique appréciée et utilisée. Avec le développement de l'informatique, elle est modernisée et ses faiblesses tendent à être gommées par l'utilisation de nouvelles solutions logicielles, dédiées au brainstorming électronique (E-Brainstorming).

3 E-BRAINSTORMING : LE BRAINSTORMING ÉLECTRONIQUE

Les outils d'e-brainstorming font partie à la fois du domaine des systèmes de support de groupe et de celui des systèmes d'aide à la créativité. Sans entrer profondément dans les détails (puisque l'étude porte spécifiquement sur les solutions fondées sur les agents intelligents), il est malgré tout intéressant de définir certains concepts et de présenter quelques approches et quelques produits d'e-brainstorming classiques.

3.1 Concepts

Système de support de groupe. Un système de support de groupe (*Group support system* GSS) est une suite de logiciels collaboratifs fonctionnant à travers un réseau d'ordinateurs, et permettant aux utilisateurs d'apporter leurs contributions anonymement (YUAN et CHEN, 2008). Ils sont très utilisés dans les entreprises car ils favorisent le travail de groupe et permettent de travailler au travers d'un intranet ou via Internet.

Systèmes d'aide à la créativité. Un système d'aide à la créativité (*Creativity Support System* CSS) a pour objectif d'améliorer la créativité des utilisateurs, en l'encourageant à diversifier ses idées et à adopter différents points de vue. Certains sont conçus pour supporter des travaux individuels alors que d'autres sont orientés pour une utilisation de groupe (MASSETTI, 1996).

Brainstorming électronique. Le brainstorming électronique (E-Brainstorming) est une forme de brainstorming qui emploie la communication électronique en remplacement de la communication verbale (KAY, 1995). Leur objectif est de fournir un support permettant d'améliorer les performances d'une session de brainstorming en gommant les limites connues de cette méthode tout en gardant les avantages de la dynamique de groupe (GALLUPE *et al.*, 1991).

3.2 Approches et solutions

Il semble que les premiers logiciels e-brainstorming aient vu le jour au début des années 1990, notamment avec les travaux de GALLUPE *et al.* (Figure 1). Aujourd'hui, il en existe beaucoup, assez variés et implémentant des fonctionnalités plus ou moins avancées. En général, ces outils permettent à chaque utilisateur de saisir ses idées sur un ordinateur via une interface adaptée. Toutes les contributions entrées sont centralisées, stockées de manière anonyme dans une « mémoire de groupe » et distribuées sur

l'ensemble des machines pour que chacun puisse consulter celles de autres. Certains outils, prévus pour être utilisés dans le cadre d'une réunion où tous les participants sont physiquement présents, proposent d'afficher sur écran géant un tableau présentant toutes les idées énoncées. Dans ce cas, la réunion est souvent menée par un animateur, qui a le même rôle que dans une session de brainstorming, excepté le fait qu'il n'a pas à gérer les tours de parole.

The image shows a software interface for e-brainstorming. It is enclosed in a dark blue border. At the top, there is a light blue header box labeled 'Previous ideas'. Below this header, a white box contains a list of four ideas: '- Saxophones would have to change', '- Babies could suck both thumbs', '- Glove manufacturers would have to retool', and '- Wool mittends would be harder to knit'. Below the list is another light blue header box labeled 'Current idea'. Underneath, a white box contains one idea: '- Old baseball gloves wouldn't work'. At the bottom of the interface, there are three light blue buttons with black text: 'See other ideas', 'Enter new idea', and 'Exit'.

Figure 1 : Un outil e-brainstorming de recherche adapté de GALLUPE *et al.* (1991)

Utilisé ici sur la question très classique de la recherche sur le brainstorming : « Les avantages et les difficultés rencontrés si tous les humains avaient un sixième doigt à chaque main »

(d'après BUISINE *et al.*, 2007)

Des approches plus originales existent. On peut citer les logiciels de brainstorming qui permettent de structurer ses idées graphiquement, comme IdeaTree™. L'utilisateur a la possibilité de saisir ses idées dans des « boîtes » qu'il peut déplacer et agencer comme il le souhaite. Il peut aussi relier ces boites et créer ainsi des réseaux d'idées pour organiser ses pensées. La mémoire est construite à partir des différents réseaux des utilisateurs. L'idée est d'aider à la réflexion en autorisant les utilisateurs à organiser leurs idées comme ils le souhaitent, de manière visuelle. La représentation d'informations de manière graphique est connue pour faciliter la réflexion et l'assimilation de ces informations. Une vue de l'interface du logiciel *Brainstorm* est donnée à titre d'exemple (Figure 2).

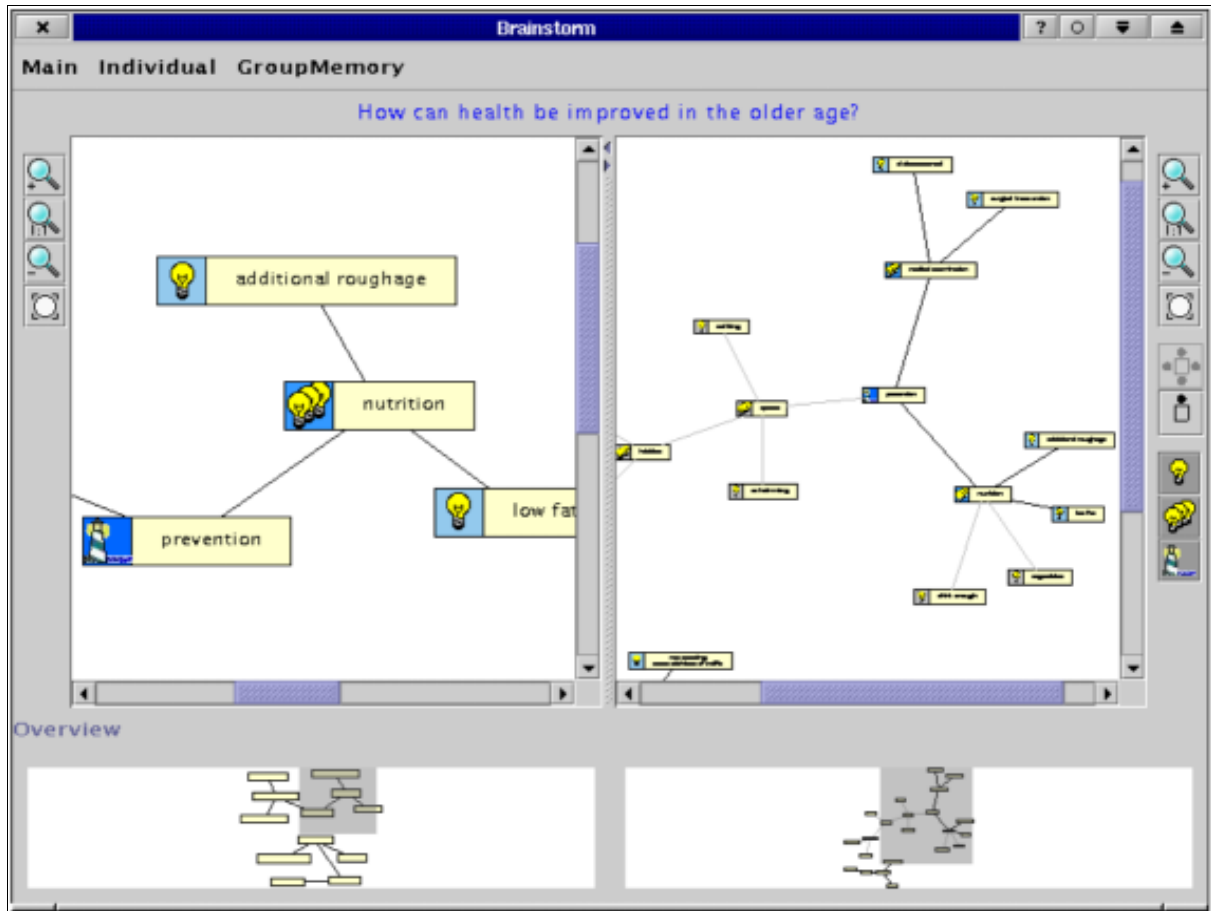


Figure 2 : Interface client du logiciel de brainstorming « *Brainstorm* »

Dans la fenêtre de gauche, on a une vue des idées entrées par l'utilisateur. Dans la fenêtre de droite, on visualise toutes les idées du groupe (la mémoire du groupe). Dans cette vue, les idées de l'utilisateur ont une bordure bleue et les idées des autres ont une bordure grise afin de les différencier correctement.

(d'après KRATSCHMER et KAUFMANN, 2002)

Les outils d'e-brainstorming sont souvent inclus dans des environnements plus larges, consacrés au travail collaboratif ou à la gestion de projet. Le plus connu est très certainement ThinkTank™, édité par GroupeSystems™, environnement complet dédié au travail de groupe en entreprise, en particulier aux travaux liés au processus d'innovation. ThinkTank™ permet de constituer des groupes de travail, d'animer des réunions en visioconférence, de classer toutes les informations d'un projet innovant, et bien sûr d'organiser des sessions de brainstorming, localement ou via Internet, de manière synchrone ou asynchrone.

On peut aussi citer IdeaFisher™, édité par la société ThoughtOffice™. IdeaFisher™ est très axé sur le brainstorming. Une de ses caractéristiques est qu'il contient une banque d'idées de plus de 7 millions de mots et d'expressions et des milliers d'associations de concepts préconstruites. Grâce à cette banque d'idées, il peut aider et participer au processus de pensée divergente d'une session de brainstorming. De

plus, IdeaFisher™ contient des milliers de questions qu'il peut poser à l'utilisateur pour l'aider à trouver de nouvelles pistes de réflexion par exemple. Une des spécificités de cet outil est son orientation sur la production d'idées, et non sur l'aspect collaboratif de la tâche, ce qui le rend utilisable pour un travail individuel.

3.3 Avantages

Les solutions e-brainstorming visent à améliorer la production d'idées (quantité et qualité) durant une session de brainstorming. Pour cela, ces solutions présentent des avantages, dont certains, particulièrement intéressants, permettent de pallier aux limites du brainstorming classique décelées dans la première partie de ce document et donc d'avoir de meilleurs résultats (pour la suite : GALLUPE, 1991 ; KAY, 1995 ; KRATSCHMER et KAUFMANN, 2002 ; DENNIS et WILLIAMS, 2003).

Le premier avantage de ces outils n'est pas spécifique au brainstorming, mais plutôt aux systèmes de support de groupe dans leur globalité. Par définition, ces outils de collaboration permettent de travailler à travers un réseau informatique, ce qui simplifie grandement la communication et l'organisation des réunions. Il n'est plus nécessaire de rassembler tout un groupe de travail dans un même endroit à un même moment pour pouvoir collaborer. De plus, les outils sont souvent conçus pour pouvoir être utilisés de manière asynchrone, ce qui sous-entend que les utilisateurs peuvent ne pas participer en même temps. Cela signifie aussi qu'un nombre illimité de personnes peuvent apporter leur contribution, à l'instar d'un forum ou d'un wiki sur Internet. Ces possibilités peuvent offrir un gain de temps et une économie financière non négligeables, notamment quand le groupe de travail est grand et qu'il est difficile de réunir les personnes concernées.

Plus spécifique au brainstorming, le support informatique de cette activité permet à tous les utilisateurs de travailler à leur rythme et de proposer leurs idées simultanément. On résout ainsi un des principaux problèmes du brainstorming exposés dans la première partie de ce document, celui du tour de parole. Les participants, en attendant leur tour pour s'exprimer pouvaient oublier certaines idées, être déconcentrés par les interventions des autres et perdre le fil de leur réflexion. Il est plus facile de se concentrer seul devant son poste qu'en groupe autour d'une table où le tumulte ambiant peut rendre difficile la réflexion.

On peut aussi évoquer la notion d'anonymat apportée par l'e-brainstorming. Grâce à elle, les participants peuvent proposer leurs idées, aussi fantaisistes soient elles, sans avoir peur de l'opinion des autres, en particulier de leurs supérieurs hiérarchiques dans le cadre d'une réunion professionnelle.

Pour finir, le fait que toutes les informations soient centralisées et archivées est aussi un aspect intéressant. Les logiciels e-brainstorming sont capables d'établir un compte-rendu de la session en listant et en synthétisant les idées émises. Les résultats du brainstorming sont alors facilement exploitables ultérieurement.

3.4 Inconvénients

Bien que les outils d'e-brainstorming présentent des avantages non négligeables, ils n'en restent pas moins critiquables à plusieurs titres (pour la suite : DIEHL et STROEBE, 1987 ; KAY, 1995 ; STROEBE et NIJSTAD, 2003 ; DENNIS et WILLIAMS, 2003).

Un des grands inconvénients identifiés est la perte d'interaction directe entre les participants. Il s'avère que la dimension humaine est une des caractéristiques importantes du brainstorming. En effet, sans parler des résultats directs de la réunion, les managers et les participants voient une opportunité de construire et de renforcer les liens entre les membres de l'équipe, d'apprendre et de s'épanouir au contact des autres. Il est évident que le brainstorming électronique va à l'encontre de ces attentes.

Un autre problème dû à l'informatique est l'attention que les utilisateurs concentrent sur l'outil. En effet, même un logiciel simple et bien conçu demande une attention particulière pour être utilisé correctement. L'utilisateur est donc moins concentré sur la tâche du brainstorming et a potentiellement moins d'idées. De plus, écrire au clavier fait perdre la fluidité de la communication, même pour quelqu'un habitué à utiliser un ordinateur. Il est moins aisé et moins rapide d'exposer une idée en la tapant qu'en l'exprimant de vive voix.

Dans la partie précédente, on a évoqué l'anonymat comme étant un avantage très intéressant. En fait, celui-ci pose aussi un problème. Pour un individu, la reconnaissance de sa contribution lors d'un travail de groupe est un facteur de motivation très important. Avec l'anonymat, cette motivation est inexistante et n'encourage pas les participants à être performants.

On a aussi vu que, grâce à l'informatique, il était possible d'animer des sessions de brainstorming avec un nombre illimité de participants. Le nombre d'idées proposées peut être gigantesque et il est alors impossible pour les utilisateurs de s'appuyer sur les contributions des autres pour être plus créatifs.

Malgré les inconvénients rencontrés, les avantages que ces outils présentent facilitent l'organisation de brainstorming tel qu'on le connaît et ouvrent des perspectives pour de nouvelles pratiques, comme le support de sessions de brainstorming individuelles par exemple.

4 LES AGENTS INTELLIGENTS

Les agents intelligents sont intimement liés à l'intelligence artificielle, un des domaines les plus complexes et sans doute un des plus fascinants de l'informatique. D'après CAGLAYAN et HARRISON (1998), la technologie agent est en fait originaire de plusieurs domaines dont l'intelligence artificielle, le génie logiciel et les interfaces homme-machine. L'étude portant sur les spécificités des solutions e-brainstorming basées sur ces agents intelligents, il est important de préciser ce concept. Après avoir donné une définition d'un agent intelligent, nous essayerons de distinguer ses principales caractéristiques. Ensuite, il sera intéressant de regarder dans quels types d'applications ils sont utilisés et les avantages qu'ils présentent. Enfin, les agents étant plutôt conçus pour travailler en communauté, nous aborderons les bases des systèmes multi-agents.

4.1 Définitions

Dans la littérature, on trouve une multitude de définitions qui diffèrent souvent selon le type d'application pour laquelle est conçu l'agent. Une des principales définitions d'un agent a été donnée par FERBER :

« Un agent est une entité autonome, réelle ou abstraite, qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui, dans un univers multi-agents, peut communiquer avec d'autres agents, et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de ses connaissances et des interactions avec les autres agents. »

(FERBER, 1995)

Si la définition de FERBER est adoptée pour la suite de ce document, on peut tout de même prendre note de celle donnée par l'association française de normalisation (AFNOR) :

« Objet utilisant les techniques de l'intelligence artificielle : il adapte son comportement à son environnement et en mémorisant ses expériences, se comporte comme un sous-système capable d'apprentissage : il enrichit le système qui l'utilise en ajoutant, au cours du temps, des fonctions automatiques de traitement, de contrôle, de mémorisation ou de transfert d'information. »

4.2 Caractéristiques d'un agent

A partir de la littérature en général et de ces deux définitions, on peut identifier certaines caractéristiques qu'un agent intelligent doit pouvoir présenter. Dans son livre blanc « Les agents » publié en 2002, BALMISSE propose quatre caractéristiques :

- autonomie : L'agent doit pouvoir agir sans intervention de l'utilisateur final;
- capacité à communiquer et à coopérer : L'agent doit pouvoir échanger des informations plus ou moins complexes avec d'autres agents, avec des serveurs ou avec des humains;
- capacité à réagir à leur environnement : L'agent doit être capable de s'adapter à son environnement (qui peut être composé d'autres agents, du web en général ou des utilisateurs) et aux évolutions de celui-ci;
- mobilité : Les agents doivent être multi plate-forme et multi architecture. Ils doivent pouvoir se déplacer sur le réseau où ils accomplissent des tâches sans que l'utilisateur ait à contrôler celles-ci.

CAGLAYAN et HARRISON (1998) ajoutent deux caractéristiques intéressantes :

- délégation : L'agent accomplit un ensemble de tâches à la demande d'un utilisateur (ou d'un autre agent), ensemble de tâches explicitement approuvées par l'utilisateur;
- pro-activité : L'agent n'agit pas seulement en réponse à son environnement, mais il est également capable d'avoir un comportement guidé par un but, en ayant la possibilité de prendre l'initiative.

4.3 Structure d'un agent

Pour répondre à toutes ces caractéristiques, les agents sont structurés de manière à comporter plusieurs composants. Si on se réfère une nouvelle fois à l'association française de normalisation (AFNOR) :

« *Un agent intelligent contient un ou plusieurs des éléments suivants :*

- *une base de connaissances prédéfinie;*
- *un moteur d'inférence, lui permettant de tenir des raisonnements plus ou moins complexes;*
- *un système d'acquisition de connaissances;*
- *un mécanisme d'apprentissage. »*

Il convient de préciser la consistance de ces différents composants.

La base de connaissances. Elle constitue les connaissances de l'agent. Des informations entrées à la création de l'agent donnent à celui-ci un socle de connaissances sur lequel il peut s'appuyer lors de ses raisonnements. Tout au long de son activité, l'agent ajoutera dans cette base des informations qu'il récoltera ou qu'il produira grâce à ses mécanismes de raisonnement et d'apprentissage.

Cette base de connaissances est souvent modélisée sous la forme d'une ontologie, notion définie par FURST de la manière suivante :

« Une ontologie est une spécification explicite (formalisée) de la conceptualisation d'un domaine »

(FURST, 2004)

La *conceptualisation d'un domaine* est entendue au sens large : dans une ontologie, on représente les concepts sous jacents au domaine en prenant en compte leur sémantique et les liens sémantiques entre les concepts. Une base de données sous la forme d'une ontologie permet le stockage, la consultation, la modification et le partage des connaissances. Elle permet surtout à l'agent, grâce à la prise en compte de la sémantique des connaissances et de leurs dépendances, de conduire des raisonnements complexes.

Les ontologies sont très utilisées dans le domaine du Web sémantique, dans les systèmes d'aide à la décision et plus intéressant pour cette étude, dans le domaine de l'enseignement assisté par ordinateur (utilisation d'agents jouant le rôle de tuteurs) très proche de l'e-brainstorming comme nous allons le voir.

Le moteur d'inférence. Les moteurs d'inférence ont été inventés pour être incorporés dans les systèmes experts dans les années 1960. Grâce au moteur d'inférence, le système peut mener des raisonnements logiques à partir de données appelées faits et selon des règles d'inférence programmées par le concepteur du système. L'objectif est d'imiter la logique d'un expert humain pour pouvoir conduire un raisonnement similaire (pour un diagnostic médical par exemple). Malheureusement, ils souffraient d'une faiblesse intrinsèque : toutes les expertises ne sont pas facilement formalisables sous forme de règles.

Ces mécanismes d'inférence ont été améliorés pour être incorporés aux agents intelligents. Ils fonctionnent sur la base d'algorithmes potentiellement complexes, qui offrent beaucoup plus de possibilités que les règles des systèmes experts. De plus ils sont capables de mener des raisonnements sur des bases de connaissances telles que des ontologies, présentées ci-dessus.

Le moteur d'inférence est un des deux piliers (avec le mécanisme d'apprentissage) de l'intelligence de l'agent.

Un système d'acquisition de connaissances. Nous l'avons dit, un des fondements de l'agent intelligent est sa capacité à évoluer au sein de son environnement et d'en percevoir les évolutions. Pour cela, il est équipé de capteurs lui permettant de surveiller son environnement et d'agir en fonction d'évènements particuliers. Ces évènements peuvent être de toutes sortes : lecture d'une information entrée dans une

interface homme/machine, connexion d'un utilisateur à l'application, réception d'un message électronique mais aussi dépassement d'un seuil de niveau sonore, détection de la position d'un utilisateur avec un badge magnétique, *etc.*

En fonction des événements perçus, l'agent déclenche ou non ses mécanismes internes qui lui permettent de réagir à cet environnement.

Un mécanisme d'apprentissage. L'objectif de l'apprentissage est que l'agent améliore progressivement et de manière autonome ses performances. CAGLAYAN et HARRISON (1998) définissent l'apprentissage pour un agent comme la modification de son comportement comme résultat de son expérience. Ils distinguent trois possibilités d'évolution par l'apprentissage, dont deux sont valables pour la plupart des types d'agents :

- ajouter de nouvelles règles ou modifier des règles anciennes : Quand l'agent reconnaît un comportement intéressant, il doit être capable de le prendre en compte et de l'assimiler sous la forme d'une nouvelle règle (ou modification de règle). Cela peut être fait automatiquement ou sous la forme d'une proposition à valider par l'utilisateur;
- ajouter de nouveaux faits ou modifier d'anciens faits : L'agent doit pouvoir insérer un nouveau concept et le connecter sémantiquement à ses connaissances, conformément à son ontologie.

Il existe deux grandes catégories de méthodes d'apprentissage :

- l'apprentissage supervisé : Il est réalisé en deux phases. La première, dite d'entraînement, consiste à présenter au système des exemples de choses qu'il doit assimiler. La seconde, dite d'application ou d'évaluation, consiste à lui présenter des situations inconnues afin qu'il généralise ce qu'il a appris lors de la première phase. L'idée de généralisation est importante : l'objectif n'est pas que l'agent apprenne « par coeur » les actions à entreprendre devant un jeu de situations particulières mais qu'il retire l'essence de ce à quoi il a été confronté pour pouvoir gérer par la suite n'importe quelle situation;
- l'apprentissage non supervisé (ou par renforcement) : L'apprentissage non supervisé est basé sur les retours d'expérience. L'agent, plongé au sein d'un environnement, doit prendre des décisions en fonction de son état courant. En retour, l'environnement procure à l'agent un retour d'expérience, appelé *feedback*, qui peut être positif (récompense) ou non. L'agent cherche, au fur et à mesure de ses expériences, un comportement optimal (appelé politique), c'est-à-dire un comportement qui maximise la somme des récompenses au cours du temps. Cette technique est très appréciée dans

les systèmes multi-agents. On peut citer la méthode du *Q-Learning* initiée par WATKINS (1989) et utilisée dans un des travaux sur l'e-brainstorming présentés dans la suite de ce document.

4.4 Domaines d'applications

Les agents intelligents sont incorporés dans un grand nombre d'applications, si bien qu'il est difficile d'en définir une classification précise. Cependant, on peut citer quelques types d'agents très bien implantés dans divers domaines.

Agents de recherche. Ils ont pour objectif de faciliter la recherche d'information (sur un disque dur, un intranet ou sur Internet). Ils permettent par exemple de chercher dans des moteurs de recherche et des annuaires ciblés, d'effectuer des recherches basées sur la sémantique de la requête, de calculer la pertinence des résultats, de résumer et d'indexer les résultats retenus, ...

Agents d'interface. Ils permettent de rendre l'interface homme/machine d'une application évolutive. Une interface dotée d'agents intelligents a la capacité de s'adapter à son environnement et au comportement de l'utilisateur, d'identifier les actions répétitives d'un utilisateur et de les automatiser. Ce type d'interface est très utilisé dans le monde professionnel, pour des tableaux de bord et des applications de gestion d'entreprise notamment.

Agents de négoce. Présents dans le domaine du commerce, en particulier le commerce électronique, ils sont par exemple capables de trouver des produits sur Internet, de consulter leur disponibilité et de comparer leur prix. Ils sont très utilisés pour faire de la veille concurrentielle et dans les moteurs de comparaisons de produits grand public.

Agents mobiles. En plus d'être autonomes, les agents mobiles sont capables de se déplacer sur un réseau pour s'approcher d'une ressource (serveur, base de données, agent logiciel, ...) afin de mieux en tirer partie.

Il est à noter que cette classification n'est pas exhaustive mais permet de montrer que les agents ne sont pas uniformes et qu'ils peuvent apporter leur contribution dans divers domaines.

4.5 Systèmes multi-agents

Un système multi-agents est composé d'un ensemble d'agents capables d'interagir et d'échanger des informations entre eux, de manière autonome. Chaque agent, en fonction de sa spécialité et de sa capacité à résoudre des problèmes particuliers, a un rôle défini et donc un champ d'action restreint. On parle d'intelligence distribuée.

Du point de vue d'un agent, tout ce qui ne concerne pas son architecture interne fait partie de l'environnement, notamment les autres agents. L'environnement est donc le lieu d'interaction des agents.

JARRAS et CHAIB-DRAA (2002) distinguent trois types d'interaction courants entre les agents :

- la coopération : travailler ensemble à la résolution d'un problème commun;
- la coordination : organiser la résolution d'un problème de telle sorte que les interactions nuisibles soient évitées ou que les interactions bénéfiques soient exploitées;
- la négociation : parvenir à un accord acceptable pour toutes les parties concernées.

Dans cette partie, nous avons pu découvrir ce qu'étaient les agents intelligents, leurs capacités à tenir des raisonnements de manière autonome et à travailler de manière collaborative au sein d'une communauté. On peut déjà imaginer quelles caractéristiques et quelles qualités des agents pourraient être utiles dans le cadre d'un outil d'aide au brainstorming. En effet, les capacités des agents à stocker des connaissances sous la forme d'une ontologie, donc en liant les concepts sémantiquement, et à pouvoir conduire des raisonnements sur ces connaissances semblent être adaptées à la problématique du brainstorming. De plus, si les agents sont aptes à mener des réflexions de ce type, et qu'ils sont capables de le faire de manière collaborative au sein d'un environnement adapté, les systèmes multi-agents laissent entrevoir des perspectives intéressantes.

5 E-BRAINSTORMING FONDÉ SUR LES AGENTS INTELLIGENTS

Comme nous venons de l'évoquer, les agents intelligents peuvent apporter une réelle valeur ajoutée aux outils de support informatisé du brainstorming. Cette partie est consacrée aux solutions e-brainstorming basées sur les agents intelligents. Après avoir expliqué le principe de ce modèle et étudié une recherche qui semble être une des premières dans ce domaine, trois travaux d'équipes de chercheurs seront présentés. Ceux-ci proposent des approches assez différentes aussi bien dans la théorie que dans la réalisation. A partir de l'analyse de ces travaux, une synthèse permettant de mettre à jour les avantages et les inconvénients rencontrés sera dressée. Enfin, la lecture de recherches connexes permettra d'imaginer de nouvelles pistes dans la perspective de construire des solutions innovantes.

5.1 Principe

Comme mentionné dans la partie sur les agents intelligents, de plus en plus d'applications informatiques (entre autres) tendent à embarquer « de l'intelligence ». En effet, on essaye de simplifier les actions exécutées par l'utilisateur, de personnaliser les interfaces, d'automatiser le plus possibles de tâches, de rendre les applications plus autonomes.

Dans le domaine de l'e-brainstorming, l'incorporation d'agents intelligents a pour objectif d'assister les participants dans leur production d'idées, de proposer des idées pertinentes visant à stimuler leur réflexion et leur créativité et plus globalement, d'améliorer les performances des sessions de brainstorming.

La principale difficulté de la modélisation et de la résolution d'un problème par la technique du brainstorming est l'absence de solution idéale (WANG *et al.*, 2006b). La réflexion n'est pas guidée vers un but précis, contrairement à la résolution d'un problème modélisable par une équation algébrique par exemple.

5.2 Première approche

Il semble que la première étude pour concevoir une solution e-brainstorming fondée sur les agents intelligents ait été réalisée dans un laboratoire de Kyoto au milieu des années 1990 (NISHIMOTO *et al.*, 1996). L'étude de l'équipe part du principe que la contribution d'un participant extérieur (qui ne partage pas les mêmes connaissances que les autres participants) est bénéfique au brainstorming. Grâce à ses connaissances extérieures au domaine traité lors du brainstorming, ce participant a un point de vue

inévitablement différent des autres et peut stimuler la discussion par la pensée divergente. Cette approche est donc tout à fait dans la philosophie du brainstorming, contrairement aux méthodes habituelles qu'on peut trouver dans les solutions sans agent intelligent qui ne cherchait pas réellement la pensée divergente. A partir de cette idée, ils ont travaillé sur un modèle d'agent intelligent, appelé « agent divergent », qui participe au brainstorming, écoute les opinions des participants et propose des idées basées sur son point de vue externe.

Leur première réflexion se concentre sur le type d'information que l'agent divergent doit être capable de donner pour stimuler la pensée divergente des participants. NISHIMOTO *et al.* proposent une classification de l'information à propos d'un sujet donné en fonction de leur pertinence pour une personne (Figure 3).

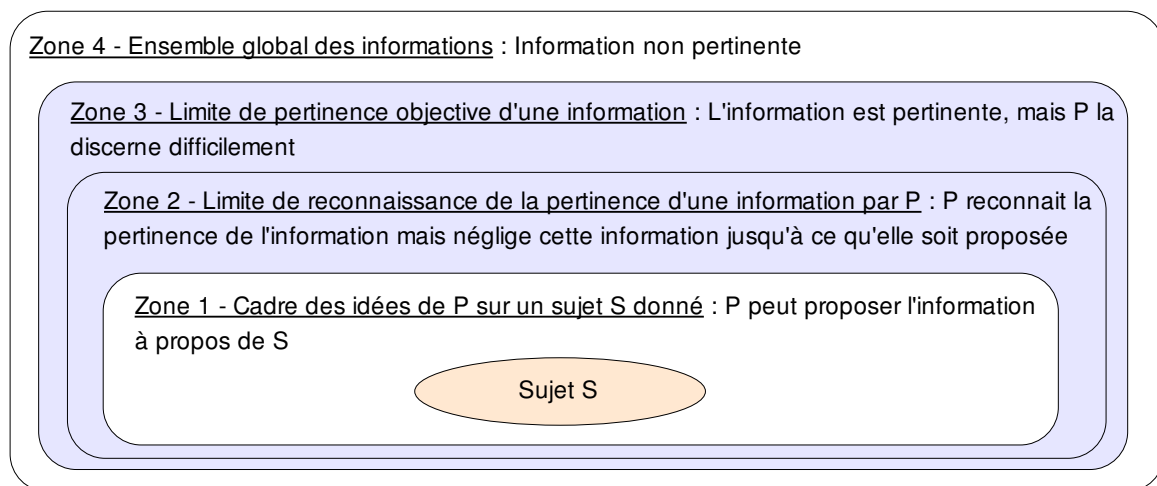


Figure 3 : Classification de l'information à propos d'un sujet S donné à une personne P (adapté et traduit, d'après NISHIMOTO *et al.*, 1996)

En fonction de cette classification, les chercheurs déterminent le type d'information qu'il serait intéressant que l'agent puisse fournir. Proposer une idée se trouvant dans la « Zone 1 » (*i.e.* faisant partie du cadre des idées de la personne P) ne favorise pas la « pensée divergente » de P puisque P a déjà connaissance de celle-ci. A l'autre extrémité, proposer une idée de la « Zone 4 » (*i.e.* non pertinente vis-à-vis du sujet) n'améliorerait pas non plus l'efficacité du brainstorming. En revanche, proposer des idées se trouvant dans les zones 2 et 3 (*i.e.* que P ne proposerait pas mais qui sont pertinentes) permettraient d'agrandir le cadre de réflexion de P, de favoriser la pensée divergente et de rendre plus efficace le brainstorming.

Le fonctionnement de l'agent divergent mérite d'être introduit.

Modèle de l'agent divergent

L'agent est construit sur un modèle de recherche d'information pour l'extraction d'informations pertinentes. Globalement, l'agent contient un analyseur syntaxique (« *parser* ») pour lire les phrases entrées par les utilisateurs, une base de textes (articles, livres, *etc.*) dont le sujet est volontairement différent du domaine d'expertise des utilisateurs et un dictionnaire associatif (associations de mots). L'agent fonctionne en trois étapes.

- Quand un utilisateur saisit une idée, l'agent extrait de celle-ci un ensemble de mots-clés appelée « idée originelle ».
- A partir de ses connaissances, qui sont volontairement différentes du domaine d'expertise des utilisateurs, l'agent tente de comprendre cette idée. Pour cela, il associe chaque mot-clé de l'idée originelle à un ensemble de mots provenant de ses connaissances (à partir du dictionnaire associatif). Enfin, en lisant les différents ensembles de mots obtenus, un nouvel ensemble contenant les mots les plus souvent rencontrés est construit. Ce nouvel ensemble est la ré-expression de l'idée originelle de l'utilisateur par l'agent à partir de ses connaissances propres.
- Enfin, il cherche dans sa base de textes des expressions pertinentes par rapport à l'idée ré-exprimée et les retourne à l'utilisateur comme stimuli pour le brainstorming.

La description de cet agent divergent est très simplifiée et mériterait plus de précisions. Cependant, cette explication suffit à comprendre que cette approche était très novatrice. En effet, les méthodes classiques d'extraction d'information dans le cadre du brainstorming étaient focalisées sur la recherche d'informations fortement pertinentes à la requête. Elles n'étaient donc pas capables de sortir l'utilisateur de son cadre d'idées et ne favorisaient pas du tout le processus de pensée divergente. L'agent divergent peut analyser une idée proposée par un utilisateur à partir de ses connaissances hors du sujet traité et émettre une idée fondée sur son point de vue extérieur.

5.3 Présentation de travaux

Depuis quelques années, quelques travaux ont été réalisés par différentes équipes de recherche. Dans cette étude, trois sont présentés. Dans le premier, YUAN et CHEN (2008) proposent une solution fondée sur des agents intelligents coopérants et capables de simuler, grâce à un mécanisme d'inférence, certains mécanismes humains d'associations d'idées. Dans le second, WANG *et al.* (2006a, 2006b) présentent un système appelé VIBRANT, ayant pour objectif de modéliser et d'évaluer les capacités des étudiants à résoudre un problème de manière créative. Ce système est constitué de plusieurs agents différents. Le troisième est mené par HUANG *et al.* (2007) qui ont développé un logiciel d'e-brainstorming basé sur le coeur de VIBRANT et conçu sous la forme d'un jeu.

5.3.1 Semantic Ideation Learning for Agent-based E-Brainstorming

YUAN et CHEN ont développé une solution e-brainstorming fondée sur un système d'agents intelligents pro-actifs capables de simuler certains mécanismes cognitifs humains mis en jeu lors d'une activité de production d'idées (YUAN et CHEN, 2008). Chacun de ces agents, appelés « *Semantic Ideation Learning Agent* » (SILA), représente un participant à la session et contribue activement au brainstorming. Le groupe d'agents évolue au sein d'un environnement baptisé « *Collective Brainstorming Decision System* » (CBDS) qui leur permet d'apprendre et de partager leurs idées. L'objectif de l'étude était de construire un agent intelligent capable de réaliser des associations d'idées et d'en générer de nouvelles lors d'une session de brainstorming. Pour cela, l'agent intègre un mécanisme d'inférence fondé sur les trois capacités d'association de la pensée humaine proposés par OSBORN : la similarité, la contiguïté et le contraste (OSBORN, 1963).

Il est intéressant de décrire l'architecture de la solution, son fonctionnement global et de se pencher plus particulièrement sur la nature de l'agent SILA, pierre angulaire du système.

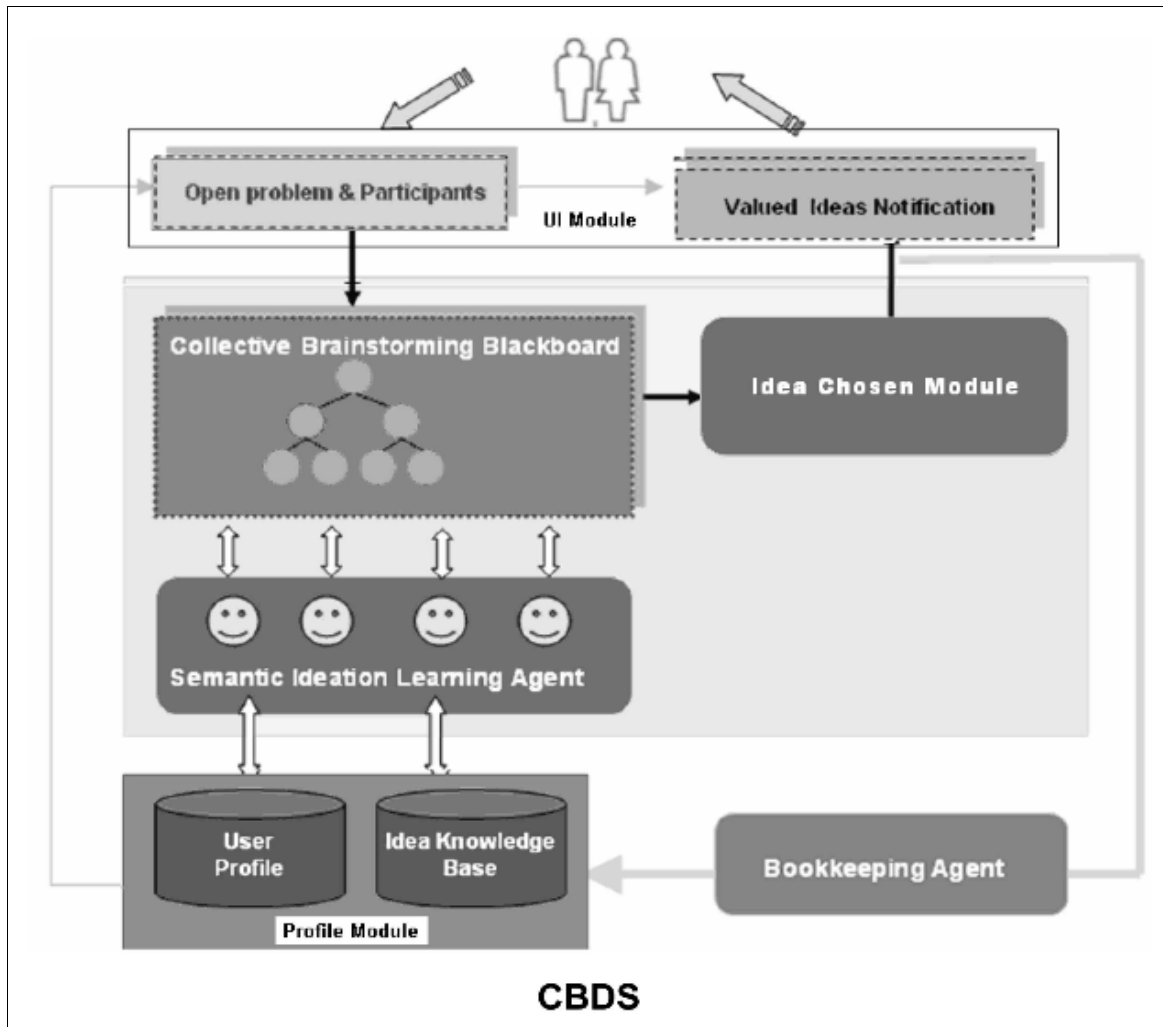


Figure 4 : CBDS - Architecture du système et environnement de communication des agents (d'après YUAN et CHEN, 2008)

L'architecture : Collective Brainstorming Decision System (CBDS)

La Figure 4 met évidence les différents composants qui structurent le système. Une description de chacun d'eux permet de bien comprendre leurs rôles respectifs et leurs interactions.

UI Module. Ce module est l'interface entre les utilisateurs et le système et contient deux composants. « *Open problem & Participants* » représente le problème initial fourni au système (idée de départ du brainstorming) et les utilisateurs. « *Valued Ideas Notification* » reçoit les idées générées par le système et présentées aux utilisateurs.

Profile Module. Ce module comprend le « *User Profile* » qui stocke des informations de base à propos des utilisateurs et le « *Idea Knowledge Base* » qui contient l'ensemble des connaissances (idées et relations entre les idées) de chaque utilisateur.

SILA. Un SILA représente un utilisateur participant au brainstorming. A partir d'une idée initiale, il génère une nouvelle idée créative et la retourne au « *Collective Brainstorming Blackboard* ». Le fonctionnement du SILA est précisé dans la suite du document.

Collective Brainstorming Blackboard. Après avoir reçu le problème initial, ce module déclenche le SILA de chaque utilisateur et fournit une plate-forme de communication entre ces agents. L'objectif est de construire récursivement une arborescence des idées créatives produites par les SILAs. A la première itération, chaque SILA génère une idée à partir du problème initial. Une itération est ensuite effectuée sur chaque idée produite à la première étape, *etc.* Le brainstorming est réalisé de manière autonome par les agents, sans intervention des utilisateurs. Chaque idée produite est évaluée selon différents critères prédéfinis.

Idea Chosen Module. Ce module sélectionne les idées les plus intéressantes dans l'arborescence du « *Collective Brainstorming Blackboard* » en fonction de critères prédéfinis et les retourne aux utilisateurs.

BookKeeping Agent. Ce module intègre les idées générées par le système dans la base de connaissances de chaque utilisateur (« *Idea Knowledge Base* ») afin de la faire évoluer et de l'enrichir au fur et à mesure des itérations.

L'agent intelligent : Semantic Ideation Learning Agent (SILA)

Un SILA est un agent intelligent représentant un participant à la session de brainstorming. Il possède un mécanisme d'inférence (« *Inference Engine* ») qui lui permet de générer de nouvelles idées en réalisant des associations entre une idée initiale et les idées de la base de connaissance de l'utilisateur (« *Idea Knowledge Base* »).

Idea Knowledge Base. Pour faciliter la communication entre les agents et pour permettre le raisonnement du moteur d'inférence, les idées sont modélisées sur un modèle commun appelé « *Idea Ontology* ». Une idée est alors une instance particulière du modèle. Selon le modèle, une idée possède trois attributs :

- *Nom* : le nom de l'instance d'idée;
- *Adresse* : elle comprend le domaine d'appartenance de l'idée (pour classer les idées d'un participant en différents domaines), le nom de son idée parente, et la relation qui la lie à sa parente. Deux relations sont considérées pour décrire les relations entre les idées : la relation « Est un » (« *Is-a* ») et la relation « Fait partie de » (« *Part-of* »);

- *Ordre* : utilisé par le mécanisme d'inférence pour comparer deux idées soeurs.

Le domaine de connaissances d'un utilisateur est alors modélisé par une ontologie d'instances d'idées et de relations les reliant sémantiquement entre elles. La Figure 5 donne l'exemple d'une partie des connaissances d'un utilisateur sur le sujet « Les transports » (« *Transportation* »).

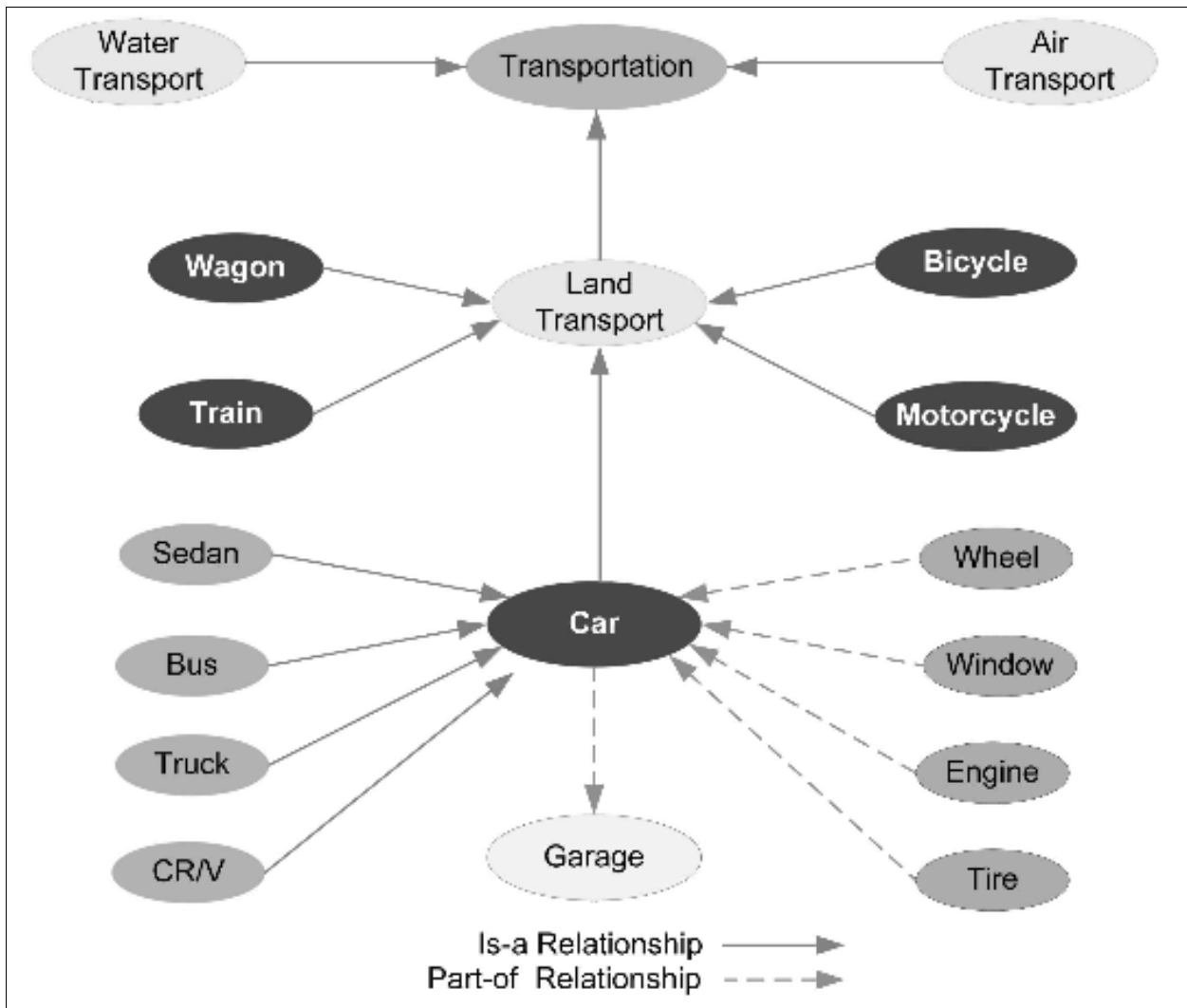


Figure 5 : Modélisation des connaissances d'un participant sur le sujet « Les transports » (partiel, d'après YUAN et CHEN, 2008)

Inference Engine. Il est conçu pour pouvoir imiter les trois associations d'idées que la pensée humaine est capable de réaliser. Il agit et évolue en toute autonomie sur le modèle du *Q-Learning*, méthode

d'apprentissage non supervisé présentée dans le chapitre précédent. Le processus de fonctionnement de l'agent se décrit comme suit :

- L'agent reçoit du « *Collective Brainstorming Blackboard* » une variable d'état s_k , définie ainsi :

$s_k = I.input, k$
 avec $I.input$ l'idée initiale de l'itération courante et k le numéro de cette itération.

- Il définit ensuite une variable d'action a_k , définie ainsi :

$a_k = \max(Q(s_k, a_k))$
 avec a_k appartenant à l'ensemble des relations d'association définies dans le Tableau I ci-dessous et $Q(s_k, a_k)$ la fonction qui détermine l'action optimale à effectuer en fonction de l'état courant (appelée « politique » dans la terminologie de l'apprentissage non supervisé).

Tableau I : Instances de relations d'association exécutables par le mécanisme d'inférence (traduit, d'après YUAN et CHEN, 2008)

Instance de relation d'association	Définition
Relation d'association par similarité	Si des instances soeurs ont la même instance parente par une relation « Est un », elles sont connectées par une relation d'association par similarité.
Relation d'association par contiguïté	Si des instances soeurs ont la même instance parente par une relation « Fait partie de », elles sont connectées par une relation d'association par contiguïté.
Relation d'association par contraste	Si des instances soeurs ont la même instance parente par une relation « Est un », une des instances (la plus lointaine) peut-être identifiée comme étant connectée par une relation d'association par contraste avec une instance d'idée donnée.

- Il exécute ensuite l'action sélectionnée et retourne au « *Collective Brainstorming Blackboard* » l'idée créative générée, structurée ainsi :

$I.creative, j, k$
 avec $I.creative$ l'idée produite, j le numéro du SILA et k le numéro de l'itération courante.

- Le « *Collective Brainstorming Blackboard* » calcule la valeur créative de l'idée produite par le SILA et lui fait part du résultat. La notation est réalisée à partir de deux paramètres : le nombre d'instances soeurs de l'idée choisie (mesure l'étendue des instances d'idées explorables dans les itérations suivantes) et la relation d'association exécutée (une association par contraste est considérée de plus grande valeur car elle est moins intuitive et correspond tout à fait à la philosophie de la pensée

divergente). En fonction de ce résultat, le SILA met alors à jour sa politique $Q(s_k, a_k)$ pour la faire évoluer en fonction de l'expérience acquise et adopter un comportement plus efficace.

Conclusions

Une série d'évaluations a été menée en utilisant le système plusieurs fois et en faisant varier plusieurs paramètres : nombre de participants, nombre d'itérations, activation ou non du « *BookKeeping Agent* » qui réinjecte les idées produites dans les bases de connaissances des utilisateurs, *etc.*

Les résultats montrent que le système améliore globalement le nombre et la diversité des idées générées. La fonction « *BookKeeping Agent* » qui permet comme on l'a vu d'enrichir les bases de connaissances des utilisateurs au fur et à mesure des itérations améliore de 10 à 33% les performances du brainstorming. De plus, la diversité des idées générées grandit avec le nombre de participants et le nombre d'itérations.

Cette réalisation de YUAN et CHEN est réellement innovante. Les agents SILAs sont capables d'engager puis de mener le brainstorming de manière autonome. Ils ne fournissent pas seulement un simple retour à une idée de l'utilisateur comme les solutions e-brainstorming classiques. Leur capacité à coopérer au sein du CBDS leur permet d'imiter la synergie existante dans une session de brainstorming classique. De plus, le fait que la performance des SILAs s'améliore avec le nombre d'itérations prouve que leur capacité d'apprentissage est efficace.

Cependant, il faut prendre en compte que le système *s'auto-évalue* et que les seuls critères de performances pris en compte sont la quantité et la diversité des idées. Même si l'application ne fait qu'obéir à la règle définie par OSBORN qui interdit le jugement des propositions pendant la phase de recherche d'idées, on peut s'interroger sur la pertinence et la cohérence de celles générées par le système.

5.3.2 VIBRANT : Virtual Brainstorming

WANG *et al.* (2006a, 2006b) ont développé un logiciel éducatif qui anime des sessions de brainstorming avec des étudiants, appelé VIBRANT (pour « *Virtual BRAINstorming* »). L'objectif de cet outil est de permettre aux étudiants d'améliorer leurs capacités à résoudre des problèmes en travaillant selon la méthode intuitive du brainstorming. Les étudiants saisissent leurs idées dans le logiciel qui peut les guider dans leur brainstorming en s'appuyant sur une base de connaissances initiales qui doit être entrée au préalable par un expert du sujet traité.

WANG *et al.* ont conçu VIBRANT pour qu'il puisse supporter les trois types de brainstorming qu'ils ont

identifiés : le brainstorming pour la génération d'idée, pour la résolution de problèmes et pour l'apprentissage par investigation. Selon eux, ces trois activités se différencient par l'orientation de leurs objectifs et se placent sur un *continuum* allant de la recherche de performance (on cherche à optimiser la quantité et la qualité des idées produites) à la recherche d'apprentissage (on cherche à explorer un domaine de connaissances et à construire des liens entre les concepts connus et nouvellement appris).

Le système est conçu autour de deux agents intelligents. Le premier représente un participant à la session du brainstorming tandis que le second a un rôle plus central de coordinateur.

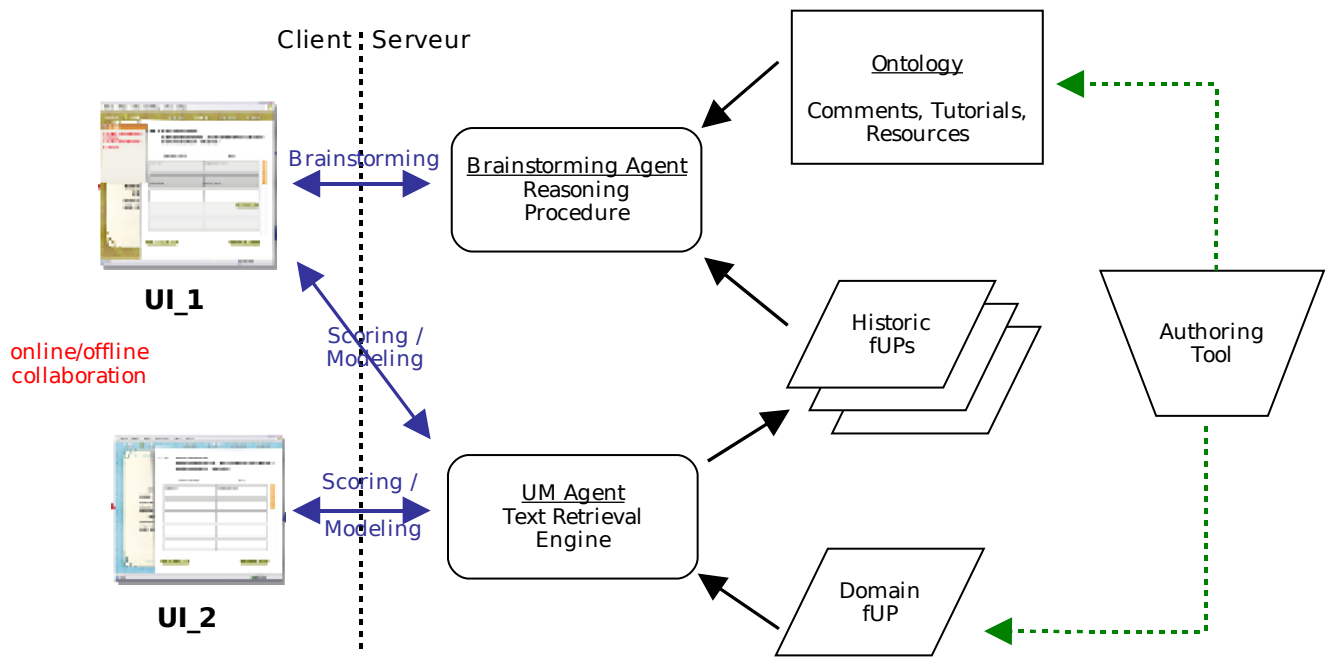


Figure 6 : Architecture du système VIBRANT
(d'après Wang *et al.*, 2006b)

L'architecture de VIBRANT

La Figure 6 décrit l'architecture du système. Il fonctionne en mode client/serveur et est composé de plusieurs modules :

- une interface utilisateur qui permet aux participants d'entrer leurs idées et de consulter les retours d'information proposés par le logiciel;
- des bases de données contenant le domaine de connaissances entré par l'expert (via un outil spécifique « *Authoring tool* ») et les domaines construits par le système à partir des idées saisies par les utilisateurs durant le brainstorming;

- de deux agents intelligents : l'agent de modélisation d'utilisateur (« *UM Agent* ») et l'agent de brainstorming (« *Brainstorming Agent* »). Les deux sont décrits ci-après.

L'agent de modélisation d'utilisateur (« *UM Agent* »)

Ce module, basé sur les précédents travaux de l'équipe (WANG *et al.*, 2005a, 2005b) a pour but de modéliser et d'évaluer la capacité des utilisateurs à résoudre un problème donné de manière créative.

Pour chaque idée exprimée, l'utilisateur doit fournir une raison justifiant son idée. L'agent construit une modélisation du domaine de connaissances de l'utilisateur de manière incrémentale, au fur et à mesure du brainstorming. La caractéristique principale de cet agent est sa capacité à modéliser le domaine de connaissances sous la forme d'un graphe biparti, défini ainsi :

Soit $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ l'ensemble des idées émises par l'utilisateur,

Soit $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ l'ensemble des raisons invoquées par l'utilisateur,

Le domaine de connaissances de l'utilisateur peut être représenté par un graphe biparti $G = (V, E)$ où $V = A \cup B$ et $A \cap B = \emptyset$

et $E = \{e_{ij}\}$ représente les connexions entre les idées et les raisons. Chaque e_{ij} est un lien entre une idée a_i et une raison b_j .

Les idées, les raisons et les combinaisons (*idée, raison*) sont notées selon une fonction d'évaluation qui assigne à chaque élément un score de la manière suivante :

f_A S_C , f_B S_C , f_E S_C avec $S_C = \{\text{bonne réponse, réponse satisfaisante, mauvaise réponse}\}$

Chaque valeur de S_C est ensuite convertie en entier. On calcule alors le score total du modèle $G = (A \cup B, E)$ en additionnant les scores pondérés des trois éléments A, B et E :

$$f_{\text{total}}(G) = (w_A f_A(A) + w_B f_B(B) + w_E f_E(E)) / (w_A + w_B + w_C)$$

où w_A, w_B et w_C sont des coefficients de pondération paramétrables en fonction du type de brainstorming en cours.

La performance d'un utilisateur U est évaluée en comparant le score de son modèle avec celui du modèle de l'expert EX :

$$\text{Score}(U) = f_{\text{total}}(G_U) / f_{\text{total}}(G_{EX})$$

Grâce à cette modélisation sous la forme d'un graphe biparti, l'agent est donc capable de représenter les idées et les raisons justifiant les idées d'un utilisateur et de noter le modèle de l'utilisateur par rapport à celui de l'expert (préalablement enregistré). Dans le cadre d'un brainstorming pour l'apprentissage par

investigation, on peut ainsi mesurer l'étendue du sujet que l'utilisateur parvient à explorer.

L'agent de brainstorming (« Brainstorming Agent »)

Cet agent utilise une ontologie qui contient les idées que l'expert a préalablement entrées sous la forme d'une hiérarchie « Est un » (« *Is-a* ») permettant d'organiser ces idées selon différents niveaux d'abstraction.

L'agent contient une machine à états finis destinée à explorer l'ontologie et à fournir un retour à l'utilisateur (« *feedback* ») quand il propose une idée. Cette machine est définie ainsi :

Soit Q , les *états*. Q représente la gamme de comportements fonctionnels du système, comprenant des actions telles que `check_coverage` ou `move_upward_in_hierarchy`.

Soit Σ , l'*alphabet*. Σ représente l'ensemble des événements qui peuvent déclencher une transition d'un état vers un autre, comme par exemple `all_sub_nodes_covered` qui peut déclencher une transition vers l'état `get_new_category`.

L'ensemble des transitions δ tel que $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$ est paramétré par le concepteur et définit les comportements qui doivent être déclenchés sur des événements particuliers. Ce paramétrage est utile pour adapter le comportement du système en fonction du type de brainstorming en cours.

Le *feedback* fourni par l'agent comprend un commentaire (« *comment* ») qui est une évaluation répondant directement à la dernière idée émise par l'étudiant et un didacticiel (« *tutorial* ») qui est une instruction visant à le guider vers un nouveau noeud dans l'ontologie, qui peut être une idée, une catégorie, etc. Ce didacticiel est fonction de l'idée que l'étudiant vient d'émettre et de l'état de son domaine de connaissances, modélisé par l'agent de modélisation d'utilisateur (« *UM Agent* »).

De plus, l'agent fournit une couche supplémentaire à l'agent de modélisation d'utilisateur (« *UM Agent* ») pour gérer l'interaction sociale entre les participants. En effet, les graphes bipartis contenant les idées émises, les raisons invoquées et les couples (*idée,raison*) comme exposé précédemment, sont agrégés dans un graphe triparti défini ainsi :

Soit $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ l'ensemble des utilisateurs,

Soit $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ l'ensemble des idées émises par les utilisateurs,

Soit $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ l'ensemble des raisons invoquées par les utilisateurs,

Le graphe triparti est défini par $H = (V, E)$ où $V = S \cup A \cup B$

et $E = \{e_{ijk}\}$ représente les connexions entre les utilisateurs, les idées et les raisons. Chaque e_{ijk} représente une personne s_i ayant proposée une idée a_j pour la raison b_k .

A partir de ce graphe, l'agent est en mesure de fournir un support social aux participants. En extrayant des

connexions particulières (par exemple des étudiants ayant proposé des idées ou des raisons similaires), l'agent peut guider un étudiant vers un noeud intéressant. La possibilité de découvrir des relations entre les connaissances des étudiants pourrait permettre de former des groupes de discussion favorisant l'interaction sociale et les performances des individus et du groupe dans e brainstorming.

Conclusions

Une série de tests a été menée avec 25 étudiants taiwanais participant à un brainstorming sur le sujet des catastrophes naturelles à propos duquel 163 idées ont été préalablement entrées par des experts. Les tests ont été réalisés en utilisant le système avec deux paramétrages différents. Dans le premier cas, les didacticiels orientaient les étudiants vers un noeud non exploré au hasard. Dans le second cas, le système fonctionnait normalement et les didacticiels étaient calculés « intelligemment », à partir de l'état courant des connaissances de l'étudiant, de l'idée qu'il venait d'émettre et de la structure logique de l'ontologie. Deux juges humains étaient présents pour juger de l'acceptabilité de chaque idée et de la performance finale des étudiants.

Les conclusions font état d'une vraie différence de résultats dans la pertinence des didacticiels fournis aux étudiants selon le paramétrage du système. Ceux-ci sont plus efficaces quand le système fonctionne normalement et ne guide pas l'étudiant vers un noeud au hasard. Il semble donc que le contexte (la hiérarchie de l'ontologie et l'état des connaissances de l'utilisateur) sont utiles pour guider l'étudiant dans son exploration. En revanche, les commentaires fournis ne semblent pas être améliorés ce qui laisse supposer que l'idée émise par un étudiant peut être jugée sans prendre en compte le contexte.

5.3.3 Idea Storming Cube

Idea Storming Cube est très fortement basé sur VIBRANT et a été développé en partie par la même équipe de chercheurs (HUANG *et al.*, 2007). Comme celui-ci, Idea Storming Cube est plutôt destiné à un usage éducatif. En revanche, il est totalement orienté pour le support de travaux de groupe alors que VIBRANT était tout à fait adapté pour travailler seul, pour de l'apprentissage par investigation par exemple.

Cette étude est fondée sur la théorie de la créativité énoncée par CSIKSZENTMIHALYI (1996). L'équipe pense que se baser sur cette approche systémique permet de prendre en compte plus de paramètres dans la conception d'un système de brainstorming électronique collaboratif.



Figure 7 : Interface du logiciel de brainstorming « *Idea Storming Cube* »

Un utilisateur obtient une carte d'idée d'un autre utilisateur

(d'après HUANG *et al.*, 2008)

Une des originalités d'*Idea Storming Cube* est sa conception sous la forme d'un jeu. En effet, HUANG *et al.* ont voulu ajouter aux qualités intrinsèques des outils e-brainstorming un aspect ludique, réputé pour augmenter la motivation et faciliter l'apprentissage.

Le principe d'*Idea Storming Cube* est le suivant : Chaque participant a pour interface une face du cube comportant neuf cases dans lesquelles chacun d'eux inscrit ses idées de manière cloisonnée (un participant ne voit pas les contributions des autres). Après une idée jugée satisfaisante, le participant obtient le droit d'échanger des idées avec quelqu'un en faisant tourner une colonne ou une ligne du cube, comme illustré sur la Figure 7. L'objectif est d'inciter les participants à réfléchir de manière individuelle dans le but qu'ils proposent des points de vue différents sur le sujet traité. Les échanges d'idées servent ensuite de stimuli pour la pensée divergente de chacun d'eux et favorisent les associations d'idées créatives.

L'architecture et les agents utilisés

L'équipe de chercheurs a utilisé une version simplifiée de l'agent de modélisation d'utilisateur développé pour VIBRANT et présenté dans la partie précédente. Chaque participant est donc modélisé par un graphe représentant son domaine de connaissances, noté f_{UP} et défini ainsi :

$$\mathbb{I} \quad f_{UP} = \{I_1, I_2, \dots, I_m\} \text{ où chaque } I_i \text{ représente une idée de l'utilisateur.}$$

Un des f_{UP} , spécifiquement noté f_{UP_d} , correspond au domaine de connaissances entré préalablement par un expert du domaine traité pendant le brainstorming.

Tous ces profils (les domaines de connaissances de chaque utilisateur et celui entré par l'expert) forment un

ensemble appelé FD_fUP et défini comme suit :

$$\mathbb{I} \quad FD_fUP = fUP_a \cup fUP_1 \cup fUP_2 \cup \dots \cup fUP_n$$

Cet ensemble est constamment mis à jour et réutilisé au fur et mesure des tours du brainstorming.

En plus, ils ont développé un agent supplémentaire destiné à déterminer quelle idée serait la plus intéressante à échanger pour chaque utilisateur, baptisé UPCA (« *User Profile Contrast Agent* »). Il compare les $fUPs$ pour calculer des ensembles dérivés d'idées émises par les utilisateurs. Par exemple, il est possible de lister les informations que l'utilisateur B connaît mais que l'utilisateur A ne connaît pas en comparant ces deux ensembles d'après la formule :

$$\mathbb{I} \quad fUP = (FD_fUP - fUP_A) \cap fUP_B$$

L'agent est donc capable de créer de vraies stimulations cognitives, réels moteurs de la pensée divergente et du brainstorming en général, en proposant à A les idées de B qu'il ne connaît pas.

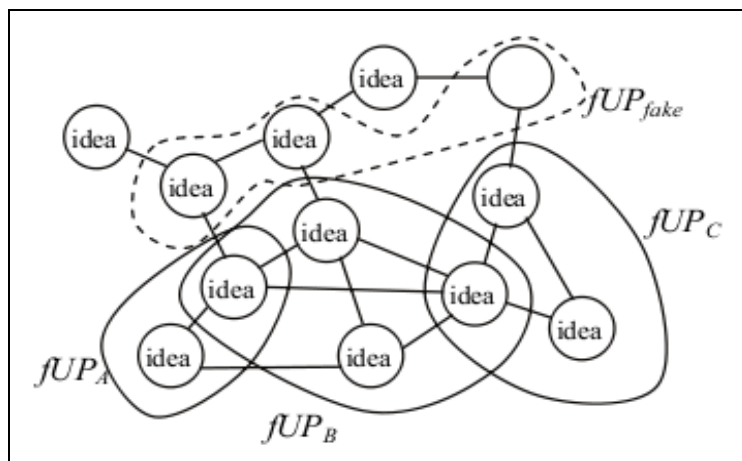


Figure 8 : Les champs d'idées des utilisateurs et le champ simulé par l'AAM (d'après HUANG *et al.*, 2008)

Enfin, un troisième agent appelé AAM (« *Agent Assisting Mode* ») a été incorporé au système pour manipuler et modifier le processus normal de brainstorming. En effet, grâce à cet agent, le système ajoute aux différents $fUPs$ un ensemble d'idées détenues par aucun utilisateur, noté fUP_{fake} sur la Figure 8 et défini ainsi :

$$\mathbb{I} \quad fUP_{fake} \subseteq FD_fUP - \bigcup_{0 \rightarrow i} fUP_i$$

Par ce biais, le système peut proposer aux utilisateurs des informations qu'aucun d'eux ne possède et ainsi les inciter à sortir de leur champ de pensée et à produire des idées originales.

5.4 Avantages

Avant d'analyser les atouts spécifiquement apportés par les agents intelligents, on peut déjà avancer que ces solutions présentent les mêmes avantages que les outils classiques (*i.e.* sans agent intelligent). En effet, la possibilité de travailler à distance et avec des groupes d'une taille illimitée, la possibilité pour un participant d'exposer ses idées à tout moment, l'anonymat, l'archivage et la classification des propositions dans une mémoire de groupe, *etc.* sont des atouts qu'on retrouve bien sûr dans les solutions e-brainstorming fondées sur les agents.

Grâce à leur moteur d'inférence, les agents intelligents peuvent tenir un raisonnement complexe et imiter certains mécanismes humains tels que les associations d'idées, comme on a pu le voir dans le système des agents SILAs. Ces agents rendent les solutions e-brainstorming capables de participer réellement au brainstorming. Celles-ci ne fournissent plus simplement un support de travail à l'utilisateur mais contribuent efficacement à la production d'idées.

L'apport des solutions e-brainstorming fondées sur les agents intelligents est encore plus probant dans le cas d'un brainstorming individuel. En effet, sans outil de ce type, il est vraiment difficile pour un individu réfléchissant seul d'aborder un problème sous différents angles, de trouver des similitudes avec une autre problématique ou d'explorer des pistes de solutions originales. Nous avons vu, notamment avec l'approche VIBRANT, que le logiciel peut jouer le rôle d'un second participant et encourager l'utilisateur dans son processus de pensée divergente.

On a aussi pu s'apercevoir qu'il est possible de paramétrer le logiciel pour pouvoir orienter la session de brainstorming en fonction des objectifs souhaités, ce qui semble assez difficile à réaliser dans un brainstorming classique, même avec un animateur pour coordonner la session.

Au niveau de l'interaction sociale, les agents permettent de comparer les domaines de connaissances des différents participants et de les inciter à échanger les idées qu'ils n'ont pas en commun. Si ce processus est naturel dans une discussion de groupe, les outils e-brainstorming le font de manière systématique et ne peuvent pas oublier une idée ou perdre une branche de la réflexion. Dans ce domaine, Idea Storming Cube semble être le plus avancé et sa conception sous la forme d'un jeu lui ajoute un aspect ludique motivant.

Enfin, nous avons appris au début de cette étude que les performances du brainstorming étaient conditionnées par la taille du groupe de travail et qu'elles avaient tendances à diminuer au fil du temps. Les résultats présentés par le système fondé sur les agents SILAs tendent à prouver que celui-ci n'est pas sujet

à ce genre de limites puisque la diversité des idées générées grandit avec le nombre de participants et la durée de la session (pour les agents, le nombre d'itérations dans le processus de production d'idées).

5.5 Difficultés et limites

De la même manière que pour leurs avantages, les solutions e-brainstorming reprennent malheureusement quelques inconvénients des outils classiques. En effet, mis à part le cas d'Idea Storming Cube, qui essaye de la recréer grâce au jeu, l'interaction sociale entre les participants peine à être retranscrite. De plus, même en s'efforçant à créer des interfaces utilisateurs simples et intuitives, l'utilisation de l'ordinateur accapare une partie de l'attention de l'utilisateur et la frappe au clavier ralentit la réflexion et la communication.

La principale difficulté rencontrée semble être la nécessité d'entrer préalablement une base de connaissances sur laquelle l'agent s'appuie pour raisonner. Cette contrainte est lourde. D'une part, elle implique qu'un travail relativement conséquent soit réalisé en amont. D'autre part, elle tend à limiter l'utilisation de l'outil à des pratiques telles que l'apprentissage par investigation, où l'objectif est d'explorer le domaine de connaissances de l'expert et non d'avoir des idées réellement originales.

Le jugement des idées semble aussi être un problème. Il est vrai que les outils d'e-brainstorming que nous avons rencontrés ne sont conçus que pour supporter la première phase du brainstorming, celle de la pensée divergente où le jugement des idées est proscrit. Cependant, en particulier dans le cas de la solution basée sur les agents SILAs où les résultats n'ont pas été clairement évalués par des humains, nous ne disposons que de peu d'information sur la qualité des idées produites. On peut alors douter de la pertinence des solutions trouvées pendant un brainstorming ayant pour but de répondre à une problématique précise.

Enfin, les agents intelligents incorporés dans les solutions rencontrées, même si ils sont déjà très évolués, semblent encore loin de pouvoir retranscrire tous les mécanismes mentaux humains utiles à la réflexion et la production d'idées. Cette limite rejoint d'ailleurs celles de l'intelligence artificielle en général : l'homme n'est pas encore capable de modéliser et de virtualiser toutes les activités de son cerveau.

5.6 Perspectives et ouvertures

Malgré les avantages très intéressants qu'elles présentent, nous avons pu remarquer que les solutions e-brainstorming fondées sur les agents intelligents connaissent des limites gênantes. Cependant, ce domaine, ainsi que ceux de la gestion de connaissances ou de l'intelligence artificielle sont en plein développement et offrent des perspectives prometteuses.

Nous avons constaté que saisir au préalable une base de connaissances à propos du sujet traité pendant le brainstorming était une contrainte forte. La gestion de connaissances, en particulier le domaine du Web sémantique, semble sur la voie de proposer une piste de réponse fascinante. En effet, le déploiement des ontologies, qui visent à permettre des recherches Internet prenant en compte la sémantique des requêtes, va couvrir de plus en plus de domaines. Des mécanismes d'inférence du même type que ceux que nous avons rencontrés dans cette étude devraient être techniquement capables d'appuyer leurs raisonnements sur ces ontologies. La perspective (lointaine ?) d'avoir accès à des connaissances de tous les domaines, dans un format utilisable par les outils d'e-brainstorming, ouvre la voie vers de nouvelles pratiques dans le monde de la recherche, des affaires ou de l'enseignement. Des agents capables de parcourir les réseaux sémantiques offriront la possibilité d'étendre un processus de pensée divergente à une infinité de domaines, comme ne pouvait l'espérer NISHIMOTO *et al.* (1996) pour leur « agent divergent ».

Dans un autre domaine, le développement des agents intelligents offrent aussi des possibilités d'évolutions intéressantes. BUISINE *et al.* (2007) proposent un axe de recherche sur l'incorporation aux logiciels d'e-brainstorming d'agents conversationnels capables de personnifier les partenaires virtuels d'e-brainstorming, de les rendre « plus humains ». Les agents conversationnels sont capables d'adapter leur comportement en imitant des traits de caractères et des réactions émotionnelles empruntés aux humains. L'intégration de tels agents permettrait de rendre le contexte social du brainstorming plus sophistiqué et plus réaliste.

Dans la partie consacrée au e-brainstorming classique, les problèmes du ralentissement de la conversation et de la chute de la concentration dus à l'utilisation de l'ordinateur ont été évoqués. Dans le cadre d'un brainstorming de groupe et synchrone, l'utilisation d'un système de reconnaissance vocale pourrait permettre de supprimer ce problème, de garder une réflexion et une expression plus naturelle ainsi qu'une bonne fluidité de conversation.

6 CONCLUSION

La démarche adoptée dans cette étude montre que, si à l'heure actuelle les solutions e-brainstorming fondées sur les agents intelligents restent plutôt expérimentales, elles semblent malgré tout prometteuses.

On retiendra du brainstorming, et plus largement de la créativité, que ce sont des activités extrêmement complexes du point de vue des sciences humaines. Les mécanismes mentaux mis en jeu sont difficiles à identifier, à décrire, et donc d'autant plus délicats à artificialiser. De plus, les interactions sociales et la synergie de groupe, si importantes dans le processus de pensée divergente du brainstorming, paraissent difficiles à préserver au cours du passage à l'informatique.

Pourtant, les travaux étudiés montrent que les agents intelligents offrent bien plus qu'une bribe de solution. En effet, ils ont la capacité de stocker des informations sous la forme d'ontologies, dont la principale caractéristique est de pouvoir modéliser des domaines de connaissances tout en préservant les concepts intrinsèques et leurs liens sémantiques. Grâce à leur moteur d'inférence, les agents sont aptes à raisonner sur ces connaissances et à imiter certains processus mentaux que nous déclenchons inconsciemment lors d'une réflexion. Leur mécanisme d'apprentissage les rend autonomes et leur permet de faire évoluer leur comportement en fonction de leur performance au fil du brainstorming. Enfin, leur capacité à communiquer au sein d'un système multi-agents les rend aptes à mener un brainstorming de groupe, proposant des idées, rebondissant sur les contributions des autres et proposant des idées en fonction de leurs connaissances propres, de leur point de vue.

Cependant, les réalisations étudiées laissent apparaître certaines limites. Les connaissances sur lesquelles l'agent s'appuie doivent être saisies au préalable par un expert. Cette contrainte implique qu'un travail conséquent soit réalisé en amont et à tendance à limiter l'étendue du brainstorming aux connaissances de cet expert.

Comme nous avons pu le constater, les avancées dans certains domaines connexes, comme le Web sémantique ou l'intelligence artificielle, fournissent des solutions qui semblent être adaptées à la problématique du brainstorming. En s'ouvrant à ces domaines, l'e-brainstorming est voué à évoluer et à se perfectionner. Des pratiques innovantes comme l'apprentissage individuel par investigation ou plus classiques dans le cadre de réunions professionnelles doivent pouvoir en émerger.

BIBLIOGRAPHIE

BUISINE S., AOUSSAT A., MARTIN J.C., 2007. Embodied Creative Agents: A social-cognitive framework. *International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA'07)*, 304–316.

Cette étude, réalisée en France, propose un axe de réflexion sur l'utilisation des agents ECA (« Embodied Creative Agents »), capables d'imiter certains traits de personnalité des humains par exemple, dans le domaine de la créativité industrielle. L'équipe présente les avantages que pourraient apporter ce type d'agents, dans les solutions d'aide à la créativité, en particulier d'e-brainstorming.

BRIGGS R.O. et REINING B.A., 2007. Bounded Ideation Theory : A New Model of the Relationship between Idea-Quantity and Idea-Quality During Ideation. *Proceedings 40th Ann. Hawaii Int'l Conference System Sciences (HICSS '07)*.

Cette théorie tente de clarifier la relation entre la quantité et la qualité des idées produites durant une session de brainstorming par exemple. BRIGGS et REINING définissent entre autres trois paramètres qui influencent la production d'idées : la limite cognitive, la limite de la compréhension et la limite de l'endurance.

CAGLAYAN A., HARRISON C., 1998. *Les agents Applications bureautiques, Internet et intranet*. MASSON Editeur, Paris-Liège, 280p.

Le but de cet ouvrage est de montrer comment les applications fondées sur les agents intelligents peuvent aider les entreprises. On y trouve une description des agents intelligents, des explications sur leur fonctionnement et sur leurs mécanismes. Ensuite, les auteurs présentent les différents types d'applications dans lesquels sont utilisés les agents intelligents et ce qu'ils leur apportent.

CSIKSZENTMIHALYI M., 1996. *Creativity: Flow and the Psychology of Discovery and Invention*. Harper Perennial, New York.

Cet ouvrage est une réelle référence en matière de créativité. On y trouve les théories de M. CSIKSZENTMIHALYI, auteur reconnu pour ces contributions fondatrices dans le domaine de la créativité. On peut s'intéresser en particulier à la théorie du système créatif inventé par l'auteur, introduite dans cette étude et utilisée dans beaucoup de recherche sur les solutions e-brainstorming.

DENNIS A.R., WILLIAMS M.L., 2003. *Electronic brainstorming: Theory, research, and future directions*. In *Group creativity: Innovation through collaboration*, Oxford University Press, London, 160-178.

Dans cette étude, DENNIS et WILLIAMS évaluent les potentiels gains mais aussi les pertes de performance causés par l'utilisation de l'informatique pour supporter des sessions de brainstorming. Cette évaluation est étendue plus globalement aux solutions de gestion de travaux de groupe.

DIEHL M., STROEBE W., 1987. Productivity Loss in Brainstorming Groups: Toward the Solution of a Riddle. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53, 497–509.

Dans cet article, les auteurs expliquent leurs doutes quant à l'efficacité réelle du brainstorming. Ils présentent les principaux blocages qui affaiblissent la qualité d'un brainstorming. Leurs arguments s'appuient sur une multitude de recherches réalisées par différentes équipes auparavant.

FERBER J., 1995. *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*. InterEditions, 1995, 522p.

Ce livre de FERBER est un ouvrage de référence dans le domaine des systèmes multi-agents. Il propose un état de l'art sur le propos, une explication assez complète de tous les concepts importants et se concentre sur les aspects modélisation, analyse conceptuelle et formalismes des systèmes multi-agents.

FURST F., 2004. Contribution à l'ingénierie des ontologies : méthode et outil d'opérationnalisation. Thèse de doctorat, Université de Nantes – Ecole Centrale de Nantes – Ecole des Mines de Nantes, 2004.

Cette thèse à propos des ontologies a été citée car la définition d'une ontologie présente dans ce document en est extraite.

GALLUPE R.B., BASTIANUTTI L.M., COOPER W.H., 1991. Unblocking brainstorming. *Journal of Applied Psychology*, 76(1), 137–142

Partis de la constatation que le brainstorming peinait à prouver son efficacité, GALLUPE *et al.* présentent une des premières approches de brainstorming électronique, visant à gommer les limites connues du brainstorming classique.

JARRAS I., CHAIB-DRAA B., 2002. Aperçu sur les systèmes multiagents. *Série Scientifique*. CIRANO, 2002s-67, 42p.

Cet article introduit les notions d'agents et de systèmes multi-agents, et détaille les différentes questions que soulève la problématique de ces systèmes multi-agents, en particulier les interactions et la coopération, la coordination, la planification et la communication.

HUANG C-C, LI T.Y., WANG H-C., CHANG C-Y., 2007. Idea Storming Cube: A Game-based System to Support Creative Thinking. In *Proceedings of the The First IEEE International Workshop on Digital Game and Intelligent Toy Enhanced Learning*. IEEE Computer Society, Washington, 179 -181.

Idea Storming Cube est une solution e-brainstorming basée sur le système VIBRANT présentée sous la forme d'un jeu. L'équipe présente cet outil, les mécanismes du jeu, le fonctionnement des agents intelligents incorporés utilisés pour modéliser les utilisateurs et mener le brainstorming.

KAY G., 1995. Effective Meetings through Electronic Brainstorming. *Management Quarterly*, 35, 15-26.

Cet article traite de l'utilisation des outils d'e-brainstorming dans les entreprises. G. KAY présente ces outils, expose la manière dont ils peuvent être utilisés dans le monde professionnel et donne les avantages et les inconvénients qui les caractérisent.

KRATSCHMER T., KAUFMANN m., 2002. Electronic Brainstorming with Graphical Structures of Ideas. *Proceedings of the 10th European Conference on Information Systems, Information Systems and the Future of the Digital Economy*. ECIS, Gdansk, Poland.

Constatant les inconvénients présentés par les solutions e-brainstorming classiques, KRATSCHMER et KAUFMANN proposent un outil permettant d'organiser les idées émises pendant le brainstorming et de construire des réseaux d'idées de manière visuelle.

LATTION S., 2005. *Développement et implémentation d'un module d'apprentissage par investigation (inquiry-based learning) au sein d'une plateforme de type PostNuke*. Mémoire de diplôme, Université de Genève, 48p.

Ce mémoire dresse un état de l'apprentissage par investigation afin de développer un outil informatique supportant des activités pédagogiques de ce type. Il a été cité pour sa définition de l'apprentissage par investigation, activité qui semble pouvoir être modernisée par des solutions e-brainstorming.

LUBART T., 2003. *Psychologie de la Créativité*. Armand Colin, Paris, 186p.

Cet ouvrage propose une synthèse assez généraliste consacrée à la créativité et décrit notamment la notion d'approche multi-variée selon laquelle la créativité dépend d'une combinaison interactive de facteurs cognitifs, conatifs, émotionnels et environnementaux.

MASSETTI B., 1996. An Empirical Examination of the Value of Creativity Support Systems on Idea Generation. *MIS Quarterly*, 20(1), 83-97.

Ce papier décrit une expérience qui a été réalisée pour évaluer les systèmes d'aide à la créativité. Ils proposent une méthode de notation et s'appuient sur l'utilisation de trois logiciels : IdeaFisher, Ideatree et Harvard Graphics.

NISHIMOTO K., SUMI Y., MASE K., 1996. Toward an Outsider Agent for Supporting a Brainstorming Session - An Information Retrieval Method from a Different Viewpoint. *Knowledge-Based Systems*, 9, 377-384.

Ce papier semble être un des premiers travaux sur la conception d'un agent intelligent appliqué au brainstorming. L'équipe de chercheurs propose un modèle d'agent externe, qui disposerait volontairement de connaissances autres que celles des participants ou d'experts du sujet traité pendant le brainstorming pour pouvoir proposer des idées d'un point de vue différent, et ainsi favoriser la pensée divergente.

OSBORN A., 1963. *Applied Imagination: Principles and Procedures of Creative Problem Solving*, Charles Scribner's Sons, New York.

A. OSBORN est l'inventeur du brainstorming, sa technique de résolution de problème de manière créative. On peut dire que cet ouvrage est l'oeuvre de référence où l'auteur présente sa théorie, décrit la technique et les grands principes du brainstorming.

POTTER R. E., 1997. Brainstorming with a GSS: Exploring over Time the Effects of Casual Thinking on Idea Generation and Synergy. *Proceedings of the 30th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1-9.

R. E. POTTER propose deux études cherchant à évaluer l'efficacité des systèmes de support de groupe, en particulier ceux permettant de réaliser des sessions de brainstorming. Il met en évidence la capacité de ces outils à faciliter les associations d'idées dans la durée de la session. En revanche, il montre que le brainstorming individuel peut-être aussi efficace que le collectif.

POTTER R., BALTHAZARD P., 2004. The Role of Individual Memory and Attention Processes During Electronic Brainstorming. *MIS Quarterly*, 28(4), 621-643.

Alors que la plupart des études mettent en avant le groupe pour expliquer l'efficacité d'un brainstorming par exemple, ce papier expose l'importance de l'individu dans ce type d'activités et propose un modèle de production d'idées centrée sur l'individu et basée sur le modèle de représentation de la mémoire MINVERVA2 de D. L. HINTZMAN.

STROEBE W., NIJSTAD B., 2003. Le brainstorming en question. *Cerveau & Psycho*, 3, 34-37.

Dans cet article, les auteurs réalisent une remise en question assez générale du brainstorming. En s'appuyant sur plusieurs expérimentations, ils listent les causes de l'apparente inefficacité de cette technique et comparent des travaux individuels avec des travaux de groupes. Ils donnent aussi leurs opinions sur le brainstorming assisté par ordinateur et concluent sur des conseils pour rendre une session de brainstorming plus efficace.

WANG H-C., CHANG C.Y., LI T.Y., 2005a. Automated Scoring for Creative Problem-solving Ability with Ideation-explanation Modeling. *Proceedings of 13th International Conference on Computers in Education (ICCE 2005)*, 522-529.

Ce papier décrit un évaluateur automatisé permettant de noter la capacité d'étudiants à résoudre un problème de manière créative. Il vise à mesurer la qualité, l'ouverture, l'originalité, ... des idées proposées par les étudiants. Le résultat de ce travail est intégré dans un module du système e-brainstorming VIBRANT présenté dans ce mémoire.

WANG H-C., LI T.Y., CHANG C.Y., 2005b. A User Modeling Framework for Exploring Creative Problem-solving Ability. *Proceedings of 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2005)*, 941-943.

Ce papier décrit un système permettant de modéliser et d'évaluer la capacité d'étudiants à résoudre un problème de manière créative. Il est basé sur une technique de modélisation des connaissances des utilisateurs sous la forme d'un graphe biparti et est capable de raisonner grâce à des agents intelligents. Le résultat de ce travail est intégré dans un module du système e-brainstorming VIBRANT présenté dans ce mémoire.

WANG H-C., LI T.Y., ROSE C.P., HUANG C-C., CHANG C.Y., 2006a. VIBRANT: A Virtual Brainstorming Agent for Computer Supported Creative Problem Solving. *Proceedings of 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2006)*, 787-789.

Ce papier décrit les questions clés sous-jacentes à la conception d'un système éducatif capable d'animer des sessions de brainstorming avec des étudiants. C'est une introduction à l'architecture VIBRANT, explicitée dans la contribution suivante de cette équipe.

WANG H-C., ROSE C.P., LI T.Y., CHANG C.Y., 2006b. Providing Support for Creative Group Brainstorming: Taxonomy and Technologies. *Proceedings of Workshop on Intelligent Tutoring Systems for Ill-Defined Domains*, Taiwan, 2006, June 26-30.

Dans ce papier, l'équipe de chercheurs propose un cadre théorique de travail pour la conception d'un environnement capable de supporter des sessions de brainstorming à but éducatif, basé sur le module de modélisation d'utilisateur décrit dans leurs précédents travaux. Ils distinguent plusieurs types de brainstorming pour définir les caractéristiques que le système devra présenter et proposent des principes et des technologies permettant de le réaliser.

WANG H-C., ROSE C.P., 2007. A Process Analysis of Idea Generation and Failure. *Proceedings of the 29th Cognitive Science Society Annual Meeting (CogSci 2007)*, 1629-1634.

Ce papier présente une étude expérimentale d'un processus permettant d'analyser l'évolution des performances d'une session de brainstorming en fonction du temps et de la taille d'un groupe de travail. Le support de cette étude est la solution e-brainstorming VIBRANT, fondée sur les agents intelligents.

WATKINS C.J.C.H., 1989. *Learning from Delayed Rewards*. Thèse de doctorat, King's College, Cambridge, 324p.

La thèse de WATKINS a pour propos d'imaginer des modèles théoriques et mathématiques d'apprentissage non supervisé. Il y introduit notamment la notion de Q-Learning citée et présentée dans ce document.

YUAN S., CHEN Y., 2008. Semantic Ideation Learning for Agent-Based E-Brainstorming. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(2), 261-275.

YUAN et CHEN présentent une solution e-brainstorming fondée sur des agents intelligents capables de simuler certains mécanismes cognitifs humains. Chacun de ces agents représente un participant à la session et contribue activement au brainstorming. Le groupe d'agents évolue au sein d'un environnement baptisé « Collective Brainstorming Decision System » (CBDS) qui leur permet d'apprendre et de partager leurs idées.

RÉSUMÉ

Le brainstorming est une méthode favorisant la production d'idées originales au sein d'un groupe de travail. Depuis de nombreuses années, elle tend à être modernisée par l'informatique. Les éditeurs de logiciels proposent des solutions visant à contourner les limites du brainstorming pour le rendre plus productif.

Une nouvelle génération d'outils fondés sur les agents intelligents est en développement. Grâce à la modélisation de leurs connaissances sous la forme d'ontologies et à leur mécanisme d'inférence capable de raisonner sur ces connaissances, les agents peuvent imiter certains mécanismes mentaux humains et participer au brainstorming.

Cette étude a pour objectif de présenter les modèles de solutions e-brainstorming fondées sur les agents intelligents. A la lumière de travaux menés par différentes équipes de recherche, une description de ces modèles est réalisée et une synthèse faisant apparaître leurs avantages et leurs inconvénients est dressée.

MOTS-CLÉS : e-brainstorming, pensée divergente, agent intelligent, moteur d'inférence, ontologie

ABSTRACT

Brainstorming is a method which promotes the production of original ideas within a working group. For many years, it tends to be modernized by computer sciences. Software publishers offer solutions to circumvent brainstorming limits to make it more productive.

A new generation of tools based on intelligent agents is under development. Thanks to the modeling of their knowledge in the form of ontologies and their inference mechanism able to reason on this knowledge, agents can mimic some human mental mechanisms and participate in brainstorming.

This study aims to present models of e-brainstorming solutions based on intelligent agents. From the work carried out by different research teams, a description of these models is completed and a summary showing their advantages and drawbacks is derived.

KEYWORDS : e-brainstorming, divergent thinking, intelligent agent, inference engine, ontology