

Etude de systèmes cognitifs pour l'évitement de collisions

Thierry Le Pors^{1 2}, Christine Chauvin¹, Thomas Devogele²

¹GESTIC-LESAM, Université de Bretagne Sud, Centre de recherche, Rue de Saint-Maudé, 56321 Lorient

²Institut de recherche de l'Ecole Navale, IRENav, BP 600 – 29240 Brest Armées

Résumé

De la simulation de trafic routier à celle d'un groupe de robots, l'évitement de collisions est un sujet fréquemment étudié en informatique. Certains modèles présentent une architecture dite "cognitive". Ce papier présente des modèles de l'évitement de collisions dans plusieurs contextes applicatifs. Notre intérêt dans cette étude est de trouver les pistes permettant la réalisation d'une simulation cognitive de l'évitement de collisions, appliquée au milieu maritime. De ce fait, nous cherchons à améliorer l'architecture TRANS (Fournier, 2005), modèle agent du trafic maritime.

A travers l'étude de différents modèles informatique de l'évitement de collisions, nous mettons en relation la capacité en nombre d'agents de ces simulations avec leurs caractéristiques cognitives dans leur contexte d'étude. Nous utilisons ces résultats, ainsi qu'une définition du processus d'évitement en milieu maritime pour dégager les pistes de la création d'un tel modèle.

1 Introduction

La gestion de l'évitement de collisions paraît a priori triviale. D'un point de vue informatique, il s'agit cependant d'un phénomène complexe. Cette complexité provient de la nécessaire prise en compte de processus cognitifs permettant l'évitement de collisions et du fait que plusieurs entités mobiles sont traitées.

L'objectif de la thèse est de réaliser une simulation cognitive du trafic maritime. La première étape de ce travail consiste à identifier une architecture informatique pertinente à cette réalisation. C'est cette étape qui est présentée ici.

L'introduction d'un modèle cognitif utilisable par TRANS (Fournier, 2005) est notre contrainte. TRANS est un modèle agent du trafic maritime que nous présentons plus loin.

Nous cherchons par là à atteindre différentes perspectives :

- Une simulation temps réel afin de fournir un outil pour l'apprentissage
- Un outil permettant le re-jeu d'accidents afin d'étudier ses causes
- Un système de support pour la prise de décision.

La première perspective se doit de respecter des contraintes temps réel dans une certaine mesure, ceci à cause de la latence des interactions entre les navires dans le contexte maritime.

Dans cet article, une architecture pour la modélisation cognitive est présentée : les systèmes multi-agents. Ensuite est posé un état de l'art portant sur

la simulation informatique de l'évitement de collisions, et plus particulièrement sur son caractère cognitif. Puis une étude des liens entre la précision du modèle cognitif et la capacité en nombre d'agents est faite. Enfin, dans une dernière partie, nous montrons les particularités du trafic maritime sur la conception d'un tel modèle.

2 Architectures cognitives

Pour l'informaticien, la modélisation cognitive est la construction et l'analyse de programmes informatiques qui implémentent une théorie cognitive et qui expliquent et simulent les processus cognitifs.

Différents outils existent pour la réalisation de tels modèles comme les systèmes multi-agents par exemple.

Les psychologues ont réalisé des architectures permettant une bonne prise en compte de la cognition, comme ACT-R (Anderson, 1996), Soar (Wray, 2005) ou COGENT (Cooper, 1998). Ces architectures permettent la création de modèles internes utilisant des règles de production. Ces architectures sont intégrables dans les systèmes multi-agents.

Dans cette partie, les agents, systèmes multi-agents, ainsi qu'ACT-R vont être introduits.

2.1 L'agent

L'agent permet de modéliser des phénomènes qui vont de la simulation de robots à des applications à la sociologie ou la biologie, en passant par la gestion de processus dans un réseau informatique. Ces modèles sont spécifiés au niveau des individus. L'intérêt de l'agent est la possibilité de le combiner à plusieurs de ses congénères et d'étudier les phénomènes émergent de leur collaboration.

Ferber (1995) définit les agents de la manière suivante :

Un agent est une entité physique ou virtuelle capable d'agir dans son environnement ; qui peut communiquer avec d'autres agents ; qui a des objectifs et ses propres ressources ; qui peut percevoir son environnement jusqu'à un certain point ; qui a une représentation partielle de son environnement ; qui possède des compétences et qui peut offrir des services ; qui peut éventuellement se reproduire ; dont le comportement tend vers la satisfaction de ses objectifs, en fonction de ses ressources, de ses compétences et dépendant de ses perceptions, ses représentations mentales et des communications qu'il reçoit.

La définition de Ferber est proche de théorie de la psychologie cognitive qui fait référence aux objectifs, représentations et compétences. Un agent utilise des

fonctions cognitives : la perception, une représentation mentale de l'environnement, la mémoire, la prise de décision. L'agent se base d'ailleurs sur elles pour parvenir à atteindre ses buts.

Tous les agents n'ont pas de représentation interne de l'environnement. Seuls les agents dits "cognitifs" utilisent une telle représentation. Les agents ne l'utilisant pas sont appelés "réactifs".

Les agents BDI (pour Belief-Desire-Intention) sont un type d'agents cognitifs. Ils utilisent une représentation des buts et des désirs sous forme de propositions logiques.

Wooldridge (2000) propose une logique nommée Lora pour représenter le fonctionnement interne de ces types d'agents. Cette logique est formée de quatre composants : une logique du premier ordre permettant de représenter les objets et les relations entre eux ; un composant exprimant les désirs et actions d'un agent ; un autre permettant de représenter les variations du système dans le temps ; et un dernier représentant les actions qu'effectuent les agents.

Les agents interagissent dans un système multi-agents.

2.2 Les systèmes multi-agents

Les systèmes multi-agents, ou SMA (Ferber, 1995), sont les systèmes à l'intérieur desquels évoluent les agents. Ces systèmes sont composés d'un environnement (en général l'espace où se déplacent les agents), d'un ensemble d'objets et d'agents, d'un ensemble de relations qui unissent les agents et les objets entre eux, et d'un ensemble d'opérateurs permettant aux agents de réagir sur les autres objets ou de permettre la répercussion d'actions sur l'environnement.

Lorsque l'environnement est non-vide, les agents modélisés se nomment "agents situés". Pour les études portant sur la gestion des risques de collision, les agents sont situés.

2.3 ACT-R

Nous présentons par la suite un modèle utilisant ACT-R. ACT-R (Anderson, 1996) est une architecture cognitive visant à proposer une vision cohérente de la cognition. Elle a pu être utilisée pour la validation de modèles cognitifs variés. Cette architecture possède différents composants spécialisés dans le traitement d'un type d'informations.

Un composant central ne reçoit directement aucune donnée, mais récupère et traite celles des autres composants via leur *buffer*. Les informations transitant entre les composants sont nommées *chunks*. Les informations des différents composants sont traitées en parallèle par le système. Notons que le système ne peut récupérer qu'un seul chunk à la fois de la mémoire à long terme et qu'il ne peut sélectionner qu'une seule production.

Ces autres composants sont : le système sensori-

moteur, le module but, le module de mémoire déclarative (gérant les informations de la mémoire déclarative) et le module de mémoire procédurale (gérant les règles de production, chacune d'entre-elle étant associée à une utilité).

3 Modèles pour l'évitement de collisions

Dans ce chapitre, différents modèles créés pour étudier les évitements de collisions entre entités mobiles sont présentés (non humain, maritime, piétonnier, aérien, routier).

Les systèmes automatiques ne sont pas pris en compte ; par exemple, le système TCAS (Traffic alert and Collision Avoidance System) (2000) définit de manière automatique les manoeuvres d'évitement sans tenir compte du pilote alors que l'évitement de deux piétons sur un trottoir est lié aux décisions de chacun (contournement à droite ou à gauche, ralentissement, accélération), et à la détection de leurs comportements.

3.1 Les boïds : un modèle multi-agents du comportement animal

Ici nous allons parler uniquement du modèle (pour bird-oïd) proposé par Reynolds (1987). Il a pour but de simuler le vol des oiseaux. Il peut être employé pour de nombreux déplacements d'animaux en groupes (bancs de poissons, troupeau de ruminants...).

Ce modèle sert aussi souvent de base de départ pour la description des déplacements humains dans une foule.

Ce système multi-agents reproduit un comportement de déplacement en nuée par un système de règles simples :

1. Séparation : deux boïds ne peuvent se trouver au même endroit au même moment ;
2. Alignement : les boïds suivent une même trajectoire afin de rester groupés ;
3. Cohésion : les boïds se rapprochent les uns des autres afin de former un groupe.

Ces trois règles suffisent pour voir se déplacer les boïds en nuée, et cela de manière réaliste : il se suivent de près, mais ne rentrent pas en collision.

Des travaux récents (Reynolds, 2006) ont permis la simulation de 10000 boïds.

3.2 Le système TRANS : une simulation du trafic maritime

Fournier (2005) a proposé à l'IENAV une approche agent-rôle pour modéliser le trafic maritime (TRANS). L'approche s'attache au caractère hétérogène du trafic maritime. En effet, les agents présents en mer peuvent, être de taille et de types variables, se déplacer à des vitesses différentes. Le système développé prend en compte le fait qu'un même navire peut avoir plusieurs fonctions (rôles). Le temps et l'espace sont représentés de manière continue.

TRANS n'utilise pas de fonctions cognitives pour

gérer l'évitement de collisions. Seules les règles de navigation (COLREG, 1972) sont modélisées. Le comportement produit pour cet évitement n'est pas réaliste car - en réalité - les règles ne sont pas toujours respectées. Ceci sera présenté dans la partie 5.

TRANS a permis la simulation de près de deux cents agents.

3.3 Un exemple de simulation du trafic piétonnier

La simulation de foules a été très souvent étudiée. Un grand nombre d'applications y sont liées. L'étude de l'évolution des foules en centre ville peut permettre de modifier l'urbanisme des villes. La simulation de foule permet aussi la connaissance des comportements des personnes dans les files d'attente.

L'article de Loscos, Marchal et Meyer (2003) présente une simulation de foule dans un environnement dense. L'espace est modélisé sous forme d'une grille en deux dimensions dans laquelle des zones sont accessibles et d'autres non. Les zones non accessibles sont les bâtiments de la ville.

Cette simulation utilise un modèle assez simple : deux règles définissent le comportement des agents. La première est une règle permettant à un piéton bloqué d'adopter un comportement de suivant : si un piéton est bloqué, il aura tendance à suivre la personne en face de lui plutôt que de tenter un contournement. La deuxième règle est une adaptation à la densité : un piéton restera à l'écart des groupes de piétons les plus nombreux.

Ces travaux présentent des modèles où les comportements sont plutôt réalistes ; leur objectif étant de faire apparaître un comportement macroscopique cohérent. D'un côté, des files se créent, de l'autre il y a apparition de files d'attente.

Le système est multi-agent et permet la simulation d'environ 10000 agents en temps réel.

3.4 OASIS : un système de gestion du trafic aérien

Ce contexte particulier offre peu de débouchés pour les études cognitives. En effet, dans le domaine aérien, il est commun de préférer les approches déterministes pour l'évitement de collisions, du fait du coût humain et matériel qu'engendrerait une collision entre appareils.

Comme le nombre d'entités est bien inférieur à celui du trafic routier par exemple, il est possible de forcer le pilote à adopter une manœuvre d'évitement.

Pour les atterrissages et les décollages, le système OASIS (Ljungberg, 1992), simule un système de gestion du trafic aérien. L'architecture créée permet de gérer l'arrivée de flots d'avions et de les orienter afin qu'ils se posent sans encombre.

Le système utilise plusieurs types d'agents pour fonctionner.

Un agent coordinateur gère les activités des autres agents. Un autre s'occupe de séquencer leur arrivée dans un temps minimal. Un agent s'occupe de faire des prévisions sur le vent. Chaque agent a donc une fonction particulière.

En plus de ces agents généraux implémentant le système de gestion du trafic, un autre type d'agent représente les avions. Le système cognitif créé modélise le comportement de la tour de contrôle et des avions.

Le système de raisonnement utilisé dans OASIS se nomme PRS (Procedural Reasoning System). Il est basé sur un système d'agents BDI et il permet de représenter les buts et le moyen de les accomplir. Plusieurs stratégies sont implémentées.

Ce modèle a permis de modéliser le trafic pour 65 avions durant 3 heures et demie.

3.5 La gestion des carrefours routiers sous ARCHISIM

En milieu routier, l'évitement de collisions est limité à quelques cas précis : rester sur la route tout d'abord, et éviter les autres véhicules roulant moins vite dans un second temps. A cela, s'ajoute le cas des carrefours. Ce sont ces carrefours qui sont étudiés sur l'approche ARCHISIM dans le modèle suivant.

L'article de Doniec, Mandiau, Espié et Piechowiak (2006) utilise un modèle cognitif. Une représentation spatiale (il ne s'agit pas que d'une "image mentale", des relations entre les états possibles sont présentes) est créée à partir des perceptions de l'agent. Cette représentation spatiale est créée grâce à un réseau de contraintes traduisant différents états dans lesquels peut entrer l'agent. Ce schéma est créé par les désirs de l'agent (atteindre son but) mais aussi par les contraintes qu'il doit observer, qu'elles soient internes ou externes. Ce schéma guide l'action de l'agent.

L'impatience d'un automobiliste, modélisée ici, fait référence à un comportement humain. Cette règle a été définie par l'observation des comportements des automobilistes : un automobiliste a moins tendance à respecter les règles quand il est pressé (comme attendre trois secondes au stop par exemple). Ce type de règle permet d'introduire une variabilité dans le comportement de l'automobiliste qui n'obéit pas strictement au code de la route.

La simulation de ce modèle a pu être testée avec 800 véhicules par heure et par branche, ce qui consiste à simuler quelques dizaines d'agents en même temps.

En simulation, le nombre d'agent est plutôt de l'ordre de dizaines.

3.6 Un modèle de la conduite sur route sous ACT-R

Salvucci (2005), lui, s'intéresse à la conduite en elle-même et à l'évitement de collisions sur une route : ici sont donc traités les cas d'évitement d'objets de l'environnement (les bords de la route) ainsi que les autres véhicules qu'il faut dépasser. L'auteur se penche sur plusieurs comportements : garder sa voie, négocier un virage et enfin le changement de voie.

Notons qu'il ne traite pas que l'évitement de collisions : il s'agit d'une réelle étude du comportement du conducteur. C'est finalement en cela que ce modèle va nous intéresser, il présente un grand nombre de comportements du conducteur, et même si ceux-ci ne

s'insèrent pas totalement dans de l'évitement de collisions, il nous permet d'étudier un modèle complet, dans le sens où il ne se penche pas uniquement sur le véhicule mais sur son conducteur.

Ce modèle est développé sous ACT-R. Plusieurs paramètres sont pris en compte lors des manoeuvres et plusieurs stratégies sont éprouvées mentalement avant d'effectuer une manoeuvre. Chaque comportement étudié n'est pas en soit une optimisation de l'évitement de collision, mais plutôt une reproduction de comportements humains.

4 Influence de la cognition sur le nombre d'agents en simulation

Il est ressenti, d'une manière intuitive, que plus un modèle présentera des éléments proches du fonctionnement cognitif, et plus le nombre d'agents simulables sera faible. Ceci sera d'autant plus vrai pour des modèles de type temps réel. Au delà de cette remarque intuitive, il est intéressant d'identifier les critères qui permettront de catégoriser des modèles cognitifs.

Les différents modèles présentés précédemment ne sont pas facilement comparables. Ils n'utilisent pas les mêmes architectures, ils sont plus ou moins cognitifs et ils n'ont pas les mêmes buts. Ils n'étudient notamment pas les mêmes phénomènes. Salvucci s'intéresse plus au comportement du conducteur que de la voiture, OASIS se fixe sur un système régulé de l'extérieur par la présence d'une tour de contrôle. Les autres modèles étudient les mouvements de foule. Quand à l'utilisation d'ARCHISIM vue plus haut, elle se concentre sur un cas particulier : le carrefour.

Dans les systèmes multi-agents, un agent utilise des fonctions cognitives de base : perception, prise de décision et action. Pourtant, une différence est faite entre agents cognitifs et agents réactifs. Cette différence tient en un point : la représentation mentale que se fait l'agent cognitif de son environnement. Cette représentation permet d'orienter les choix de l'agent grâce à un processus top-down alors que les réactions aux informations perçues dans l'environnement répondent à un processus dit "bottom-up".

Une autre notion pertinente pour la modélisation cognitive est la notion de stratégie ; il est nécessaire, en effet, de définir la stratégie utilisée par l'entité virtuelle pour éviter une collision et d'identifier les éléments du contexte qui l'incite à choisir une stratégie plutôt qu'une autre.

Finalement, on peut dire qu'un modèle peut être catégorisé selon le nombre de processus cognitifs qu'il considère et selon le nombre de stratégies qu'il utilise.

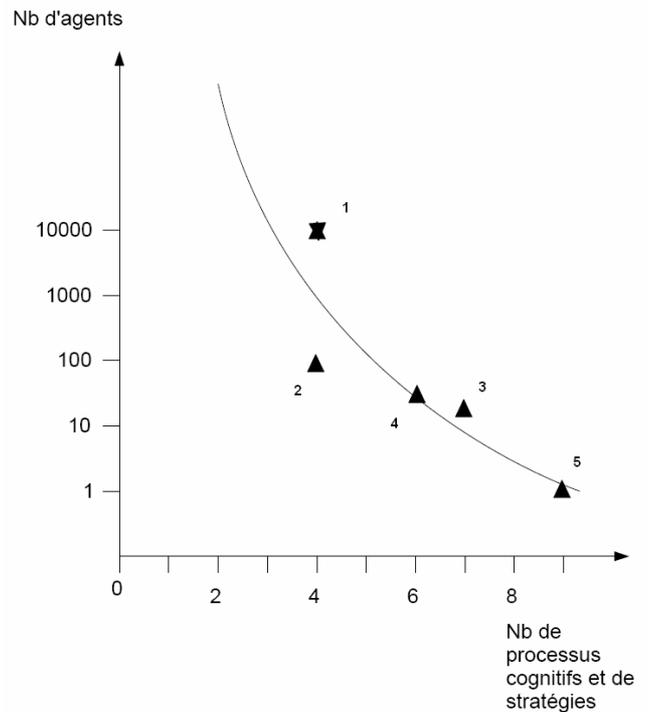


FIG. 1 – Schéma du rapport nombre d'agents / nombre de processus

Ainsi, les modèles permettant des simulations de l'ordre de 10000 agents en temps réel utilisent les capacités réactives des agents complétées par une représentation spatiale simple. Ces modèles représentent les fonctions cognitives des agents que sont les perceptions, la prise de décision et l'exécution d'action. Soient trois fonctions cognitives auxquelles s'ajoute une stratégie pour l'évitement de collisions (même si le modèle de Loscos est plus complet que celui de Reynolds, il utilise une stratégie identique définie en fonction de la place de l'agent par rapport aux autres dans l'espace). Sur la figure, les deux modèles sont au même point noté 1.

TRANS permet de simuler un nombre moins important d'agents (de l'ordre de la centaine) tout en conservant le même type d'approche : les fonctions cognitives d'un agent réactif et une stratégie d'évitement. Il est noté 2 sur la figure.

OASIS semble plus intéressant : chaque module propose finalement une stratégie ou une prise en compte d'un élément différent pour la création d'une stratégie. Trois modules influent sur l'évitement de collision. Par ailleurs les agents construisent une représentation mentale de leur environnement. Il est noté 3 sur la figure.

ARCHISIM (le 4 sur la figure) utilise aussi des agents qui manipulent une représentation mentale de l'environnement (ce que croit connaître l'automobiliste de l'environnement). Ce modèle utilise, par ailleurs, des règles d'évitement, basées sur les propriétés spatiales de l'environnement et sur le code de la route. Une deuxième stratégie d'évitement est implémentée. Elle est nommée "l'impatience" et elle est prioritaire par rapport aux précédentes.

Enfin, le modèle de Salvucci (le 5 sur la figure) utilise différentes fonctions cognitives : perceptions,

représentation construites à partir des informations perçues, modèle de la mémoire d'ACT-R, prise de décision, action, attention. Il est plus difficile d'évaluer le nombre de stratégies, d'autant que le modèle n'est pas centré sur l'évitement de collisions. Il peut être considéré qu'elles sont le maintien de la trajectoire, la négociation de virage et le dépassement.

Le graphique de la figure 1 est construit grâce à ces données. Le nombre de fonctions cognitives et de stratégies modélisées est placé en abscisse. En ordonnée est indiqué le nombre d'agents modélisés.

Les modèles étudiés apparaissent sous forme de triangles dans la figure 1. Le modèle de Salvucci est placé dans ce graphique : on admet que l'automobiliste virtuel qu'il modélise est un "agent".

La courbe représente une tendance des modèles : elle donne un bon aperçu de la relation entre le nombre d'agents et le nombre de fonctions cognitives et de stratégies modélisées. Cette courbe montre que plus le nombre de processus cognitifs et de stratégies modélisés est grand, plus le nombre d'agents représentés en simulation est faible.

Les résultats nous indiquent l'ordre de grandeur du nombre d'agents d'un modèle suivant sa complexité : la complexité du modèle cognitif a une influence sur le nombre d'agents modélisés. S'orienter vers un modèle plus cognitif est en effet plus coûteux en ressources. Il est intéressant de voir que la complexité de l'environnement représenté influe beaucoup sur cette performance, comme c'est le cas pour le modèle de Fournier qui permet de faire interagir moins d'agents que des modèles équivalents en terme de nombre de fonctions cognitives.

Cette étude nous amène à une observation : le nombre d'agents présents en simulation est une conséquence de la complexité de ce qu'ils modélisent et bien entendu de la notion de temps réel. Il est évidemment possible de simuler des milliards d'agents, la simulation prendra alors plus de temps. On peut aussi allouer plus d'ordinateurs à la tâche et réduire ce temps.

Une autre observation, est tout aussi importante : lors de la réalisation d'un modèle agent, il est important de déterminer son « niveau de représentation ». Les modèles de simulation de foule n'ont, par exemple, que peu d'intérêt à modéliser les caractéristiques cognitives des individus. L'intérêt est d'observer les mouvements de foules, pas ceux de l'individu dans une foule. D'où l'intérêt de simuler un grand nombre d'individus.

ARCHISIM par exemple se contente d'observer le trafic à un niveau plus bas : que se passe-t-il au niveau d'un carrefour où il existe des règles précises ? Comment les automobiles s'insèrent dans la circulation ? Ici peu importe qu'il y ait 1000 ou 10000 voitures, quelques unes suffisent.

De même un modèle étudiant une seule personne n'a pas besoin de modéliser précisément la foule qui l'entoure. Une représentation des autres individus est suffisante.

Ainsi, la figure 1 permet aussi de déterminer le poids du niveau de modéliser : plus le modèle étudié est proche de l'individu et plus il requiert une complexité du modèle cognitif, et moins on a d'agents en simulation.

Le but de ce travail étant de déterminer quel « degré de cognition » est adapté pour le contexte maritime, il est important d'en connaître le processus d'évitement.

5 Processus de l'évitement de collisions en milieu maritime

Dans le contexte maritime, l'évitement de collisions est géré par un système de règles proche de ce que peut être le code de la route pour le trafic routier. Ce code, le règlement international pour prévenir les abordages en mer, est toutefois plus compliqué que le code de la route et se prête plus à l'interprétation des marins. Par exemple, on n'y parle jamais de "navire prioritaire", le terme employé est "navire privilégié". Il est en effet considéré que deux navires en route de collision doivent tout tenter pour s'éviter. Le navire non privilégié doit d'abord effectuer une manœuvre d'évitement, et si rien n'est fait, le navire privilégié doit à son tour tenter une manœuvre. Ce code apporte donc une complexité liée à l'interprétation des mouvements du navire antagoniste et à l'anticipation de ses actions.

Chauvin (2001) a étudié la prise de décision chez les navigants. Elle apporte des précisions sur les processus cognitifs lors des manœuvres d'évitement, et sur les caractéristiques de ces manœuvres.

Posons le processus d'une situation d'évitement de collisions, d'un navire et de l'officier qui le dirige.

1. Tout d'abord, le navigant doit identifier s'il se trouve en situation de collision possible :

- Il identifie un ou plusieurs navires à proximité ; cette action s'effectue à la vue ou à l'aide d'un radar par exemple.
- Le navigant construit une image mentale : par exemple, si le navire antagoniste reste sur le même azimuth pendant un certain temps, alors il est en trajectoire de collision.
- Il détermine enfin quelle sera sa position au temps TCPA¹.

2. La construction mentale qu'il vient d'effectuer lui permet ensuite de prendre une décision :

- Le navigant analyse la situation et détermine s'il est privilégié ou non.
- S'il est privilégié, il décide de ne pas changer pas de trajectoire... Tout en restant attentif à la situation.

1 TCPA : Time of Closest Point of Approach. Il s'agit de l'instant où les deux navires seront au plus près (voire en collision)

- S'il n'est pas privilégié, il décide alors d'entreprendre une manœuvre d'évitement.

Les possibilités de manœuvre pour un navire sont : virer à tribord, virer à bâbord, accélérer et ralentir. Le navire utilise donc ces 4 possibilités en respect des COLREGs²

- Le navigant doit classer le type d'évitement selon sa configuration spatiale (croisement, dépassement, face à face).
- Selon la configuration, il décide d'effectuer une manœuvre suivant la règle correspondante (par exemple, pour un croisement, le navire non privilégié choisira de passer derrière l'autre navire).

Si le navigant est privilégié, il ne manœuvre pas. Au bout d'un certain temps, si le navire antagoniste n'a pas manœuvré, il doit alors prendre une décision (effectuer une manœuvre d'évitement).

- Une fois le danger écarté, un nouveau processus a lieu : le navigant doit décider de sa nouvelle route, soit en se recalant sur l'ancienne, soit en décidant d'une nouvelle route.

Les étapes présentées ci-dessus sont celles d'une manœuvre d'évitement respectant les COLREGs. Il est important de noter que les étapes de la décision peuvent être modifiées selon l'expérience et les connaissances du navigant. Par exemple, avec de l'expérience, un navigant va apprendre à identifier les types de navires qui vont toujours lui céder le passage, qu'ils soient privilégiés ou non. Ce type de connaissance intervient lors de la prise de décision lors de l'évitement de collision, et intervient au même type que les règles maritimes.

Enfin, des stéréotypes peuvent venir modifier les réactions, qu'ils portent sur les types de navires ou sur la nationalité de son équipage.

Les situations d'évitement comportent des caractéristiques identifiables par le navigant. Celui-ci semble prendre sa décision suivant la configuration de cette situation.

En informatique, il serait naturel de se tourner vers un système de « raisonnement à partir de cas », d'un choix de réponse suivant un patron préexistant.

Le système va comparer la situation actuelle avec des patrons de situation. Il va retenir le patron qui optimise les quatre critères que prennent en compte les navigateurs (sécurité du navire et de l'équipage, respect du règlement, contrôle de la situation, gain de temps). Chaque navigateur peut accorder à chaque critère une importance plus ou moins grande.

Cela peut notamment passer par l'intégration d'un modèle Situational Awareness (Endsley, 1995) : reste alors à trouver les paramètres inférant et construire les

situations et les réponses correspondantes.

Le processus présenté ici nous permet de penser que le modèle à réaliser pour l'évitement de collisions en milieu maritime utilisera les fonctions cognitives décrites dans les modèles à agents cognitifs. Ce processus mettant en cause au moins deux navires, nous choisissons d'écarter un modèle plus centré sur l'individu tel que celui présenté par Salvucci. ACT-R peut toutefois s'associer à du multi-agent, et peut être utile pour l'étude du trafic maritime, il peut être intéressant de reprendre ses principes pour la création d'un modèle cognitif.

La meilleure des solutions semble donc être un système à agents cognitifs, prenant en compte plusieurs stratégies d'évitements, comme le respect des COLREGs ou l'adaptation à celles-ci en fonction du temps restant pour la manœuvre : un modèle basé sur une représentation par réseau de contrainte comme le fait d'ARCHISIM semble être une bonne piste, ce dernier gérant un nombre de véhicules comparable à ce qu'on peut trouver dans le trafic maritime. La complexité du modèle cognitif influera sur le nombre d'agents en simulation. On peut tirer du graphique que le nombre d'agents en simulation sera de l'ordre de la dizaine si on cherche.

6 Conclusions

Il a été montré, dans cet article, que le nombre de fonctions cognitives et de stratégies modélisées impliquait un nombre plus faible d'agents en simulation, et que le nombre d'agents était fonction du contexte d'étude.

Nous nous sommes donc décidés à orienter nos travaux vers la réalisation d'un système multi-agents avec agents cognitifs. La complexité de ces agents en terme de stratégies à mettre en œuvre implique un nombre d'agents en simulation de l'ordre de la dizaine.

Dans nos perspectives, pour la réalisation d'une telle simulation, nous allons utiliser le système TRANS que nous améliorerons en remplaçant son système d'anti-collisions intégré par un nouveau, prenant en compte le processus décrit ci-dessus. Il sera ensuite intéressant d'intégrer les comportements particuliers à certaines catégories de marins (marins pêcheurs, officiers de quarts de caboteurs). Le type de données utiles sera par exemple la distance d'évitement, la distance à laquelle le navigant commence à s'inquiéter de l'autre navire ou encore certains stéréotypes pertinents (un évitement à une distance plus grande d'une certaine catégorie de navires par exemple).

L'intérêt de notre modèle sera donc de présenter des réactions réalistes en simulation dans l'optique de l'enseignement de la navigation.

Références

ACT-R. <http://act-r.psy.cmu.edu/>

2 *TCPA* : Time of Closest Point of Approach. Il s'agit de l'instant où les deux navires seront au plus près (voire en collision)

- Anderson J. R. (1996). Act : A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*.
- Chauvin C. (2001). Modélisation et simulation cognitive en situation dynamique : Application à la prise de décision en conduite de navire, *Psychologie française*.
- Cooper R, Yule P, Fox J, and Sutton D. (1998). *A Cognitive Science Approach to Reasoning, Learning and Discovery*, pages 55–82. Pabst Science Publishers.
- Doniec A, Mandiau R, Espié S, and Piechowiak S. (2006). Comportements anticipatifs dans les systèmes multi-agents. application à la simulation de trafic routier. *Revue d'intelligence artificielle*.
- Endsley M R (1995), *Toward a theory of situation awareness in dynamic systems*, Human factors
- Ferber J. (1995). *Les Systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective*. InterEditions.
- Fournier F. (2005). *Intégration de la dimension spatiale au sein d'un modèle multi-agents à base de rôles pour la simulation ; Application à la navigation maritime*. PhD thesis, IRENAV.
- Ljungberg M. and Lucas A. (1992). The OASIS air-traffic management system. In *Proceedings of the Second Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI '92)*, Seoul, Korea.
- Loscos C, Marchal D, and Meyer A. (2003). Intuitive crowd behaviour in dense urban environments using local laws. In *Proceedings of the Theory and Practice of Computer Graphics*.
- Organisation Maritime Internationale. (1972). *Règlement international pour prévenir les abordages en mer*.
- Reynolds C. (1987). Flocks, herds, and schools : A distributed behavioral model. In *Computer Graphics*.
- Reynolds C. (2006) Big fast crowds on ps3. In *Proceedings of Sandbox*.
- Salvucci D. D. (2005) Modeling driver behavior in a cognitive architecture. *Human Factors*.
- US Department of Transportation (2000). *Introduction to TCAS II*.
- Wooldridge M. (2000). *Reasoning about rational agents*. MIT Press.
- Wray R.E., Jones R.M. (2005) *An introduction to Soar as an agent architecture*. In, R. Sun (ed), *Cognition and Multi-agent Interaction: From Cognitive Modeling to Social Simulation*, Cambridge University Press