
Sélection dynamique de situations d'apprentissage en environnement virtuel

Kevin Carpentier, Domitile Lourdeaux

*Laboratoire Heudiasyc
UMR CNRS 7253
Université de Technologie de Compiègne
Centre de Recherches de Royallieu
BP 20529
60205 COMPIEGNE cedex
kevin.carpentier@hds.utc.fr
domitile.lourdeaux@hds.utc.fr*

RÉSUMÉ. Dans de nombreux contextes industriels, les opérateurs peuvent être amenés à rencontrer des situations qu'ils n'ont jamais pu rencontrer pendant leur entraînement. Cependant, il est primordial que ces situations soient gérées efficacement afin d'éviter des conséquences très coûteuses. Afin de combler ce manque dans les formations, les environnements virtuels devraient fournir un large spectre de situations d'apprentissage. Nous proposons de générer ces situations de manière dynamique dans des environnements virtuels pour la formation. Pour cela, un espace vectoriel associé à des valeurs de croyances sur la capacité ou non de l'apprenant à résoudre une situation permet de représenter la Zone Proximal de Développement proposée par Vygotsky. Les valeurs de croyances des points de l'espace sont ensuite mises à jour à partir des traces d'activités de l'apprenant. Cet espace permet d'établir un profil de l'apprenant. Il peut également permettre la construction dynamique de scénario de formation en sélectionnant des points de cet espace qui serviront de contraintes pour la construction automatique de nouvelles situations.

MOTS-CLÉS : adaptation, environnement virtuel pour la formation

1. Introduction

La complexité croissante des systèmes techniques et organisationnels entraîne une diversification et une augmentation de la complexité des situations de travail. La formation, qu'elle soit initiale ou continue, est devenue un enjeu essentiel afin de parer à ces mutations. Elle permet notamment de prévenir les accidents dans les domaines où la sécurité est critique (industrie à haut risque, formation des assistantes de vie).

Cependant, de manière générale, dans ces environnements professionnels, les opérateurs suivent une formation courte avant d'être mis en situation réelle. Ils manquent d'expérience et chaque nouvelle situation est difficile à gérer. L'expérience est un moyen privilégié pour développer des compétences professionnelles. La rencontre avec des situations variées amène l'apprenant à construire ses propres représentations mentales de l'activité et à consolider ses connaissances. En plus de fournir les bases théoriques nécessaires à l'appréhension des concepts du terrain, un outil de formation idéal devrait permettre à l'apprenant de construire ses représentations par le biais de l'expérience. Cependant, une telle formation est coûteuse et demande la mobilisation des équipements. Nous proposons donc d'utiliser des environnements virtuels pour la formation qui ont prouvés leur efficacité dans le cadre de l'apprentissage en situation complexe [AMOKRANE 09]. En simulant le contexte de travail, ces environnements offrent un large champ de situations réelles. Cependant, pour être efficace, l'apprentissage doit se faire graduellement par étayage progressif des connaissances de l'apprenant. Un apprentissage efficace requiert également de maintenir l'attention et la motivation de l'apprenant.

Notre objectif est donc de produire des situations d'apprentissage variées et adaptées au niveau de l'apprenant et présentées dans un contexte motivant. A ces fins, nous proposons de générer des situations d'apprentissages pertinentes de difficultés croissantes au cours d'une session, et d'une session à une autre, en s'appuyant sur les traces d'activités de l'apprenant et sur des objectifs pédagogiques déterminés par le formateur.

Dans notre contexte d'environnement virtuel pour la formation, nous définissons une situation d'apprentissage pertinente comme étant un ensemble d'états du monde mettant en jeu un sous-ensemble de compétences et de connaissances de manière efficace. Etant donné que nous nous intégrons dans le cadre théorique de l'apprentissage situé, nous considérons que chaque apprenant construit ses propres représentations mentales indépendamment d'une élicitation des connaissances et des compétences à acquérir. Il est donc difficile d'évaluer l'acquisition des connaissances.

Par ailleurs, le contenu généré doit être pertinent, c'est à dire qu'il remplit à la fois les objectifs d'apprentissage et les objectifs motivationnels et l'équilibre entre ces deux notions doit être déterminés et maintenu. Produire dynamiquement et de manière adaptative un si large spectre de situations possibles est donc un problème difficile. Pour résoudre, ces difficultés, nous proposons un moteur décisionnel Seldon, ScEnario and Learning situations adaptation through Dynamic Orchestration, pour générer et contrôler un scénario dans un environnement virtuel. Il se constitue en premier lieu du module TAILOR que nous présentons dans cet article. TAILOR permet la génération d'un canevas, une séquence ordonnée de *situations* à rencontrer ou, au contraire, à éviter, qui permet de confronter l'apprenant à des situations nouvelles, variées et favorisant ainsi le développement de nouvelles représentations et l'acquisition de nouvelles connaissances. Dans la suite de cette article, nous utiliserons le terme de situation pour se référer à une description partielle de l'état du monde, celle-ci définit de manière minimale les éléments à mettre en présence afin de favoriser le déroulement d'une certaine activité. Chaque étape du canevas est utilisée par

le planificateur DIRECTOR [BAROT 13], l'autre module constitutif de SELDON, pour contraindre la simulation vers les situations désirées.

Cet article présente nos contributions sur la sélection de situations à partir de croyances sur les connaissances et compétences de l'apprenant et d'objectifs d'apprentissage. Dans la section 2, nous présenterons les différentes approches utilisées dans le cadre de la scénarisation adaptative et comment nous tentons de les fédérer dans nos travaux. Ensuite, nous décrirons le processus général de génération de contraintes situationnelles et présenterons plus précisément la méthode de sélection des situations à partir des besoins pédagogiques (section 3). Dans la section 4, nous illustrerons nos propos à travers un scénario de sélection de situations dans le cas de la formation des assistantes de vie à la garde d'enfants.

2. Etat de l'art

La scénarisation adaptative est le processus automatique par lequel l'environnement réagit aux actions de l'utilisateur afin de fournir du contenu toujours adapté à ses besoins. Dans les jeux vidéo, ce processus peut être utilisé afin d'ajuster la difficulté en fonction du niveau du joueur de manière dynamique, contrairement à une scénarisation non-adaptative dans laquelle les niveaux sont initialisés au début de la session sans prise en compte du joueur.

En ajustant la complexité de manière dynamique, on s'assure que le joueur est toujours dans l'état de *flow* [CSIKSZENTMIHALYI 91] : la difficulté est suffisamment équilibrée pour permettre au joueur de progresser tout en lui proposant un défi à relever, il n'est jamais dans l'état d'ennui ou de frustration. La notion de *flow* peut être utilisée pour ajuster la difficulté lors de session de formation afin de conserver un haut niveau de motivation chez l'apprenant. Un tel système permet alors de proposer des situations suffisamment difficiles et nouvelles pour provoquer de l'apprentissage tout en étant à la portée de l'apprenant afin d'éviter une perte de motivation. L'objectif de nos travaux est double : fournir du contenu adapté et le présenter de manière à conserver l'état de *flow*.

L'adaptation peut se faire à différentes échelles selon qu'elle porte sur des événements précis de la simulation, le déroulement de la simulation elle-même ou sur une succession de simulation.

Une première approche est de proposer une *adaptation globale*, qu'elle soit générée [NIEHAUS 11] ou scriptée [MARION 10] : le début, la fin ainsi que les différents moments d'apprentissage de la session ont été prévues avant son exécution pour un apprenant. Ce type d'approche permet la construction de scénarios qui présentent de nombreux avantages :

- *Cohérence pédagogique* : le scénario assure une continuité et une progression dans les apprentissages au cours de la session, des assistances peuvent aisément être prévues à des moments clés;
- *Implication émotionnelle* : le scénario pédagogique peut être construit autour d'une histoire dans lequel l'apprenant se sentira impliqué;

Le principal écueil de cette approche est le manque d'interactivité du système. La session complète ayant été prévue (générée ou scriptée), le scénario ne peut être réorienté en fonction de l'état actuel de l'apprenant. Pour pallier à ce défaut, il est possible de prévoir différents chemins mais l'écriture de chacun de ces chemins représente un travail conséquent.

A une échelle plus petite, *l'adaptation réactive*, ou *locale*, consiste à contrôler ponctuellement les effets des événements en fonction du niveau de l'apprenant. Cela permet notamment :

4 Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Toulouse 2013

- *l'adaptation dynamique* : le système déclenche, ou non, les effets des actions de l'apprenant et fournit les assistances nécessaires en fonction des besoins pédagogiques du moment.

Dans l'application V3S [BAROT et al. 11], l'occurrence d'une fuite de matière inflammable est calculée en temps réel par le tuteur intelligent HERA [AMOKRANE 10] à partir du niveau d'expertise de l'apprenant.

La simulation dans laquelle l'adaptation a lieu peut être exécutée avec deux approches différentes : *l'approche contrôlée* et *l'approche émergente*. *L'approche contrôlée* vise à fournir un apprentissage efficace en contrôlant tous les éléments de la simulation : états des objets, comportements des personnages virtuels, possibilités d'action de l'apprenant, etc. Cela permet :

- *le contrôle pédagogique* : chaque élément de la simulation sert le scénario et les besoins pédagogiques.

Cette approche, illustrée par le Generic Virtual Training [GERBAUD et al. 08] aide à construire des scénarios efficaces mais rend impossible la rencontre avec des situations non prévues qui, pourtant, pourraient s'avérer pertinentes. De plus, une telle approche demande une modélisation exhaustive des fonctionnements possibles du monde, ce qui nuit à l'évolutivité et à la généralité du système. L'ajout de nouveaux contenus peut être une source d'incohérences. En outre, le contrôle opéré peut lui-même être source d'incohérences dans les comportements du monde : les personnages virtuels deviennent imprédictibles, les états des objets ne sont plus fiables, etc. Par exemple, le contrôleur pourra décider de l'état d'un objet ou de l'humeur d'un personnage virtuel, alors même que cela pourrait être contradictoire avec les événements précédents. Dans ces conditions, les conséquences des événements ne sont plus explicables *a posteriori*. Or, l'explicabilité des comportements est primordiale car elle permet à l'apprenant de comprendre et d'intégrer les liens entre les causes et les conséquences.

Par une modélisation des comportements locaux du monde, les *approches émergentes* permettent :

- l'occurrence de *situations non prévues* [SHAWYER 97]
- *une grande liberté d'action* : les apprenants ne sont pas limités dans la tâche qu'ils sont supposés effectuer. Ils peuvent expérimenter et découvrir les effets de toutes les actions prévues dans le système;
- *la cohérence du monde* : n'étant pas supervisés par un contrôleur central, les personnages virtuels conservent leur autonomie et leur comportement reste cohérent tout au long de la simulation.

Cependant les approches émergentes n'apportent pas de moyen de contrôle pédagogique. La simulation s'exécute en fonction de paramètres initiaux et il n'est pas possible de contrôler l'enchaînement des événements pour les adapter au niveau de l'apprenant.

Chacune de ces approches présentent des avantages mais aucune ne permet d'avoir différentes échelles d'adaptation tout en favorisant à la fois l'émergence de situations, le contrôle pédagogique et la cohérence des comportements.

3. Proposition

3.1. Approche

Nos travaux visent à offrir une adaptation pertinente à différentes échelles. A l'échelle la plus locale, l'adaptation doit permettre de moduler les conséquences des actions de l'apprenant, ainsi, un même ensemble d'évènements pourra aboutir à des effets différents selon le niveau d'expertise de l'apprenant. Ensuite, l'adaptation doit également être effective à une échelle globale en produisant des séquences d'évènements complexes qui mèneront vers des apprentissages spécifiques au cours d'une session, tout en prenant en compte les informations issues des sessions précédentes. Afin de permettre ces différentes échelles d'adaptation, nous devons adopter une approche qui est à la fois globale et locale. De plus, afin de favoriser un apprentissage par essai-erreur, la liberté d'action des apprenants doit être maximum et le système doit réagir conformément à la réalité. Or, étant donné la complexité des systèmes techniques et humains concernés, la description de tous les scénarios de fonctionnements possibles résulterait en une explosion combinatoire. Afin d'éviter l'écriture fastidieuse de tous ces possibles, nous avons choisi de modéliser leur fonctionnement par une approche émergente. Pourtant, notre objectif reste d'assurer un apprentissage efficace : c'est-à-dire que la simulation reste dans le cadre de ce qui est adapté à l'apprenant, que les situations d'apprentissages sont rencontrées, et que les assistances adéquates sont fournies. Pour cela, il est nécessaire de contrôler, dans une certaine mesure, le déroulement des évènements.

Il nous faut donc adopter une approche *émergente* dans la modélisation du système représenté par la simulation, mais nous devons également utiliser des ressorts de l'approche *contrôlée* afin d'appliquer des contraintes pédagogiques à celle-ci. Afin d'avoir à la fois de l'adaptation globale et locale avec contrôle pédagogique sur une simulation émergente, nous proposons d'orienter dynamiquement la simulation vers des situations spécifiques tout en restant consistant avec l'état actuel du monde, sans créer de rupture de cohérence entre les états des objets ou le comportement des personnages virtuels autonomes. C'est l'objectif de SELDON, ScEnario standing for ScEnario and Learning situation adaptation through Dynamic Orchestration, qui est un élément de la plateforme HUMANS que nous décrivons ci-dessous.

3.2. La plateforme HUMANS

La plateforme HUMANS (HUMAN Models-based Artificial eNvironments Software) est dédiée à la simulation d'environnement virtuel pour les domaines complexes dans lesquels les facteurs humains sont critiques [LANQUEPIN et al. 13]. Elle permet à des personnages virtuels hautement cognitifs de coexister avec les apprenants au sein d'une simulation.

La plateforme regroupe un ensemble de moteurs décisionnels indépendants qui raisonnent sur des modèles de connaissances communs conçus pour être renseignés par des experts des domaines concernés (ergonome, didacticien, etc.). Les trois modèles de connaissances sont :

- DOMAIN (figure 1) qui utilise une description ontologique pour décrire le fonctionnement du monde sous sa forme statique : les objets, qu'ils soient physiques ou abstraits, et les relations qu'ils entretiennent. Un ensemble de règles permet de décrire les comportements dynamiques sur ce monde : actions possibles, comportements qu'ils engendrent et les évènements qui peuvent se produire.

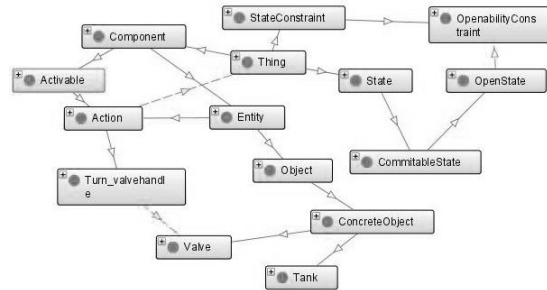


Figure 1. Représentation ontologie du modèle de domaine

- ACTIVITY (figure 2) utilise une représentation hiérarchique des tâches pour décrire l'activité telle qu'elle a été observée sur un site réel. Les tâches élémentaires correspondent aux actions référencées dans Domain.

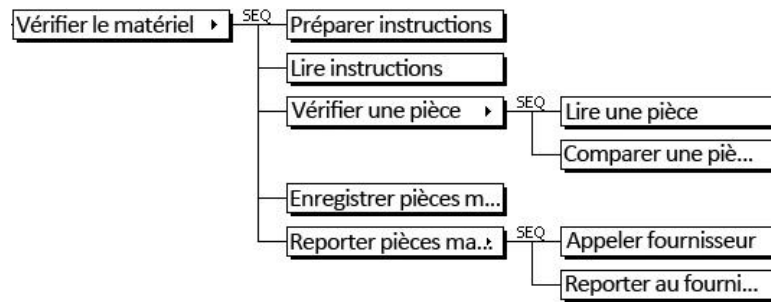


Figure 2. Représentation hiérarchique des tâches

- CAUSALITY (figure 3) permet d'exprimer les chaînes de causalités pouvant se produire dans l'environnement. Ces chaînes sont représentées par des graphes acycliques directs et peuvent aussi bien décrire des chaînes causales de risques.

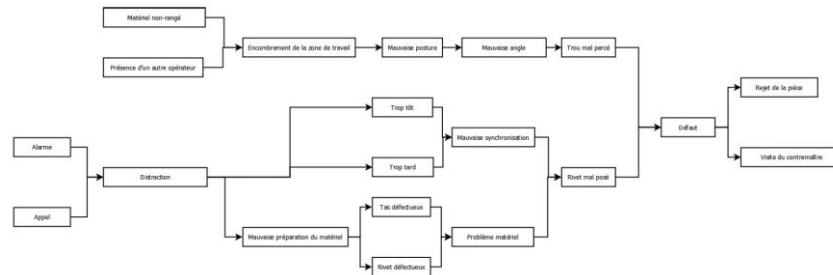


Figure 3. Représentation des chaînes de causalité

Le lecteur intéressé pourra se référer à [LANQUEPIN et al. 13] pour plus de détails sur ces modèles et sur la façon dont les différents moteurs décisionnels de HUMANS les utilisent.

3.3. Description générale

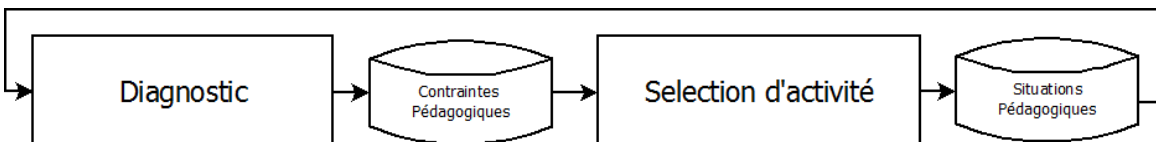


Figure 4. Processus de génération des contraintes situationnelles

Le module TAILOR de génération de contraintes situationnelles est divisé en deux parties successives : le diagnostic puis la sélection pédagogique (figure 4). Le diagnostic met à jour dynamiquement le profil de l'apprenant à partir de la trace d'activité de celui-ci. Ce diagnostic permet d'établir un ensemble de contraintes pédagogiques pour les prochaines situations à mettre en œuvre. La seconde étape utilise ces contraintes pédagogiques pour déterminer un ensemble de contraintes situationnelles qui remplissent les contraintes pédagogiques. Elle génère également un ensemble de propriétés que le scénario global doit satisfaire afin d'assurer que la simulation reste dans un cadre adapté à l'apprenant.

Les contraintes situationnelles décrivent des états du monde qui permettront à l'apprenant de découvrir, développer ou utiliser des connaissances et des compétences spécifiques. L'une des situations est définie comme étant la situation-but vers laquelle la simulation doit s'orienter. Le processus étant réitéré plusieurs fois au cours de la simulation, la situation but n'est pas la fin du scénario mais une étape de celui-ci.

Nous présentons dans la section suivante un modèle pour générer la situation but en fonction d'un modèle de l'apprenant utilisant les théories de l'incertain.

3.4. Description de la sélection pédagogique

3.4.1. Données d'entrées

Le mécanisme de sélection dynamique des activités qui sous-tend TAILOR repose autant sur des informations issues de l'apprenant que d'informations issues du formateur.

- *Données de l'apprenant* : Toutes les actions des apprenants sont enregistrées dans une trace sémantique reposant sur le modèle de suivi HERA [AMOKRANE 10]. Ces traces rendent compte des *situations précédemment rencontrées, des erreurs, des violations, de leurs conséquences, des risques potentiels engendrés*. Cette trace est également enrichie par les traces d'activités des personnages virtuels autonomes ainsi que par le suivi des chaînes causales au sein de l'environnement;
- *Données du formateur* : le formateur peut orchestrer la simulation à différents niveaux : en sélectionnant des *situations* particulières qui devront être rencontrées pendant la session à partir du modèle CAUSALITY, des *tâches* à effectuer à partir du modèle ACTIVITY ainsi que des *connaissances ou compétences* à favoriser. Ces éléments seront pris en compte lors de la sélection des activités.

3.4.2. Diagnostic

Nous souhaitons pouvoir produire un apprentissage progressif qui soit personnalisé pour chaque apprenant. Vygotsky a proposé le modèle de la Zone Proximal de Développement (ZPD) dans le cadre de l'éducation [VYGOTSKY 78] selon lequel un élève développe des compétences à l'intérieur d'une zone de confort qui peut s'élargir grâce à l'aide d'un professeur. Nous pensons que la notion de ZPD peut être utilisée dans des contextes d'apprentissage plus divers que les contextes éducatifs et que cette zone peut être étendue grâce à un scénario construit par un moteur de scénarisation.

En s'inspirant des travaux de [DOIGNON & FALMAGNE 85] sur les espaces de connaissances, la ZPD peut être considérée comme un espace vectoriel dont les différentes dimensions représentent les connaissances et les compétences. Un type de situation est alors décrit par des contraintes représentées par un vecteur de cette espace définissant les prérequis pour sa résolution. Cet espace est donc construit de sorte que des points proches sont représentatifs de situations sémantiquement proches.

Etant donné qu'il est difficile d'évaluer avec certitude la capacité d'un apprenant à résoudre une situation par la simple observation, nous reportons les situations rencontrées comme des points de cet espace avec une croyance sur la capacité de l'apprenant à savoir gérer ce type de situation. Les croyances sur un type de situation sont propagées aux points voisins pour estimer les capacités de l'apprenant à gérer des types de situations proches.

Le modèle des croyances transférables et la règle de combinaison conjonctive décrite dans [SMETS & KENNES 94] sont utilisés pour représenter et mettre à jour les croyances.

Quatre valeurs sont associées à chaque point de cet espace décrivant une situation :

- h - Croyance dans la capacité pour l'apprenant à gérer la situation,
- d - Croyance dans l'incapacité pour l'apprenant à gérer la situation,
- i - Ignorance sur la capacité de l'apprenant à gérer la situation
- c - Conflit entre les croyances sur la capacité et l'incapacité

Avec $h + d + i + c = 1$.

TAILOR parcourt les traces produites par le module de suivi MONITOR. Chaque trace est utilisée comme une source d'information pour mettre à jour les croyances sur les types de situations que l'apprenant est capable de résoudre. Les nouvelles valeurs de croyances sont calculées en utilisant la règle de combinaison conjonctive (CRC) comme explicité dans les équations [1], [2], [3], [4].

$$h_{\text{new}} = h_{\text{cur}} * h_{\text{source}} + i_{\text{cur}} * h_{\text{source}} + i_{\text{source}} * h_{\text{cur}} \quad (1)$$

$$d_{\text{new}} = d_{\text{cur}} * d_{\text{source}} + i_{\text{cur}} * d_{\text{source}} + i_{\text{source}} * d_{\text{cur}} \quad (2)$$

$$i_{\text{new}} = i_{\text{cur}} * i_{\text{source}} \quad (3)$$

$$c_{\text{new}} = 1 - h_{\text{new}} - d_{\text{new}} - i_{\text{new}} \quad (4)$$

Où h_{curr} , d_{curr} , i_{curr} et c_{curr} sont les valeurs actuelles, h_{source} , d_{source} , i_{source} sont les valeurs fournies par les traces et h_{new} , d_{new} , i_{new} et c_{new} sont les nouvelles valeurs.

Le couplage entre les croyances et l'espace multidimensionnel décrit précédemment dessine la ZPD que nous appelons *espace-zpd*. L'espace-zpd constitue un profil implicite de l'apprenant, et bien qu'il ne soit pas directement interprétable par les formateurs, il est directement utilisé pour la sélection des types de situations pédagogiques à mettre en œuvre.

3.4.3. Sélection pédagogique des situations

Alors que l'apprenant progresse parmi les situations au cours des sessions, l'espace-zpd se charge de points et les croyances sont mises à jour localement. Tailor sélectionne ensuite un ensemble de points pour générer une nouvelle situation. La difficulté réside dans le choix des points qui permettront de produire des situations d'apprentissage efficace. La sélection se fait par des règles pédagogiques sur les 4 valeurs de croyances de chaque point. Les points où la valeur d'ignorance (i) est haute sont peu intéressants car ils ne fournissent pas d'information. Les points où la valeur de capacité (h) est haute ne sont pas propices à de nouveaux apprentissages mais peuvent être utiles en début de session pour mettre l'apprenant en situation de confort. Les points où la valeur d'incapacité (d) est haute sont intéressants, ce sont des indices d'erreurs ou de violation. Des règles pédagogiques spécifiques permettront de définir si la situation doit être évitée ou au contraire si une situation d'apprentissage doit être générée à partir de ce point en fournissant les assistances adéquates. Les points où la valeur de conflit (c) est élevée sont intéressants. Mathématiquement, cette valeur illustre la présence de sources d'informations contradictoires. Dans notre cas, cela peut être interprété comme étant la capacité d'un

apprenant à mettre en œuvre un même jeu de compétences dans certains contextes et pas d'autres. A partir de ces informations, il est possible d'établir des règles qui peuvent être dépendantes du domaine et précises : « Sélectionner les points dont les croyances h sont maximales pour les compétences $X1$ et $X2$ » ou très génériques et indépendantes du domaine : « Sélectionner les points dont la valeur de conflit c est maximum ». Les points, ou vecteurs, résultants constituent les contraintes pédagogiques que devront respecter les situations à produire.

3.4.4. Contraintes situationnelles

Pour chaque contrainte pédagogique, TAILOR recherche dans le modèle d'activité ACTIVITY les différentes tâches qui mettent en œuvre les compétences prescrites. Ensuite, en raisonnant sur le modèle de causalité, CAUSALITY, et le modèle de domaine, DOMAIN, TAILOR détermine l'état minimal dans lequel le monde doit être pour mener au déroulement de cette activité. La description de ces états, exprimée dans le même formalisme que DOMAIN, des triplets rdf, constitue une contrainte situationnelle. Une valeur de désirabilité, comprise entre -1 et 1, est attribuée à chaque contrainte situationnelle en prenant en compte les croyances et le nombre de réalisation de ces activités au cours des sessions passées. Une valeur négative de désirabilité permettra d'informer sur les situations à éviter. Au contraire, la contrainte situationnelle ayant la valeur de désirabilité maximale sera considérée comme la situation but vers laquelle la simulation devra tendre.

4. Scénario d'usage : simulation pour la formation des assistantes de vie

Le modèle de génération a été appliqué sur un scénario de formation des assistantes de vie à la garde d'enfants. En l'occurrence, l'Association pour la Formation Professionnelle des Adultes (AFPA) nous a fourni un large ensemble d'informations didactiques liées à la garde d'enfant pour la réalisation d'un jeu sérieux, SimADV. Dans ce jeu sérieux, l'apprenant joue le rôle d'une nourrice qui doit prendre soin de deux enfants. L'AFPA avait organisé les compétences sous la notion de « critères de performance ». Toutes les activités possibles sont marquées selon qu'elles nécessitent une certaine valeur dans ce critère ou qu'elles dénotent d'une influence positive ou négative sur ce critère. Par exemple, le change du nourrisson requiert de la *Vigilance*, de la *Planification d'Intervention* de même que du *Respect des protocoles*. Ces critères, assimilables à des compétences, ont été utilisés pour former l'espace-zpd des situations de ce domaine : c'est-à-dire qu'ils constituent les axes de l'espace vectoriel. Pour chacune de ces compétences, il y a 6 paliers numérotés de 0 à 5.

Dans l'exemple suivant, afin de faciliter la démonstration, nous ne considérerons que deux compétences : *Contrôle de soi (Self Control)* et *Respect des protocoles (Protocol Compliance)*. L'objectif pédagogique est arbitrairement fixé comme étant le *Contrôle de soi*. Nous présentons ici les décisions prises par TAILOR dans le cadre d'un apprenant ayant utilisé le système de formation plusieurs fois. L'espace-zpd de cet apprenant est présenté en figure 5.

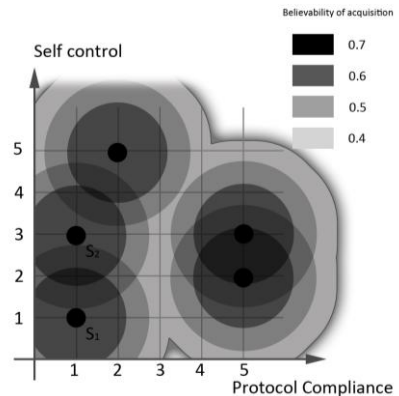


Figure 5. Espace-zpd en début de session.

Eu égard aux objectifs pédagogiques, ici fixés sur le contrôle de soi, TAILOR sélectionne des points qui privilégient cette compétence. Le point SG (SC = 5;PC = 5) est sélectionné. Le système a une croyance de 0.4 dans la capacité de l'apprenant à gérer ce type de situations. En raisonnant sur les connaissances du domaine, TAILOR détermine les tâches compatibles avec les contraintes (SC = 5;PC = 5). La tâche « S'occuper d'un enfant blessé en situation d'urgence » est une activité qui remplit ces contraintes. La précondition pour cette activité est l'occurrence d'un accident majeur sur un enfant. TAILOR utilise les modèles de connaissances pour déterminer les origines possibles d'un accident majeur. Il y a deux causes possibles d'accident : *une brûlure par eau bouillante qui peut survenir lorsque les robinets sont en position « chaud » ou une chute dans les escaliers qui peut survenir lorsque la barrière est restée ouverte.*

En observant le modèle du monde, Tailor détermine que ces deux situations peuvent potentiellement se produire dans la session courante : il y a un robinet et un escalier clôt par une barrière. Etant donné que les deux situations sont possibles dans l'état du monde actuel et afin de contraindre le moins possible la simulation, la contrainte situationnelle générée est réduite à « Occurrence d'un accident ». Des considérations sur les propriétés du scénario, qui ne sont pas présentées ici, contrôlent la gravité des événements. Ici, la gravité sera relativement basse. Les connaissances sur le monde permettent d'inférer qu'une blessure sur un enfant est un événement grave (Figure 6).

```

Situations
  Goal
    Desirability:1
    States:
      (?child has-accident ?acc)
      (?acc has-gravity major)
  Situation1
    Desirability:-1
    States:
      (?child has-accident ?acc)
      (?acc has-gravity mortal)

```

Figure 6. Exemple de description d'une situation d'accident

Dans les traces produites par le module de suivi de l'apprenant, une erreur d'omission a été détectée : l'apprenant n'a pas réalisé une sous-tâche de la tâche de haut niveau « S'occuper d'un enfant dans une situation d'urgence ». En effet, l'apprenant aurait dû appeler les secours, ou tout au moins, les parents (il s'agit ici d'une tâche alternative) pour les prévenir et pour s'assurer qu'aucun autre soin n'était nécessaire. La situation n'a donc pas été résolue avec succès, l'espace-zpd est mis à jour en conséquence avec des

croyances sur l'incapacité de l'apprenant à gérer une situation du type (SC = 5; PC = 5). Pour corriger ce comportement, TAILOR raisonne sur les connaissances pour déterminer quels événements sont susceptibles d'initier l'apprenant aux bonnes pratiques. Dans notre cas, cela peut notamment se produire si les parents reviennent prématurément, dans un état inquiet, et réprimandent l'apprenant pour son manque de vigilance (Figure 7). L'apprenant a fait l'erreur de ne pas prévenir les services d'urgence. L'arrivée prématurée des parents est une assistance. Le même type de situations est susceptible d'être proposé à l'apprenant dans de futures sessions pour vérifier si il adopte le bon comportement. La mise à jour de l'espace-zpd à l'issue de la session est présenté en figure 8.

```
Situations
Goal
  Desirability:1
  States:
    (?parent at home)
    (?parent has-state ?worried)
    (?worried has-level ?high)
```

Figure 7. Exemple d'une situation d'assistance

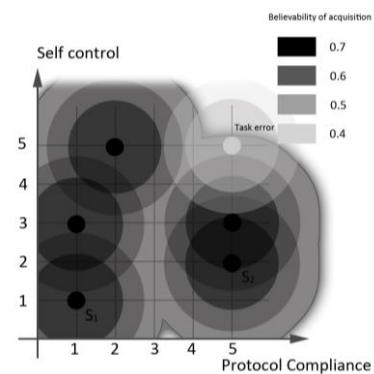


Figure 8. Espace-zpd en fin de session

5. Discussion

La proposition d'opérationnaliser la zone proximale de développement comme un espace de connaissances ou de compétences couplé à un modèle de croyance permet de générer des situations pédagogiques de difficultés croissantes en s'appuyant sur les acquis de l'apprenant. Cependant, en élicitant les compétences et les connaissances de l'apprenant et en déterminant spécifiquement à quelles tâches elles se rapportent, le travail d'écriture du contenu est aussi fastidieux que s'il avait fallu concevoir les scénarios pédagogiques manuellement. Nous explorons actuellement différentes pistes basées sur des analyses de données (analyses en composantes principales, positionnement multidimensionnel) pour aider les auteurs dans cette phase d'élicitation des compétences afin de les extraire directement des modèles.

6. Conclusions et travaux futurs

Dans cet article nous proposons un modèle de génération dynamique de scénario adapté à l'apprenant dans un environnement virtuel.

Le modèle de génération nécessite notamment une phase de diagnostic qui raisonne sur les traces à l'initialisation mais également en cours de session. Il opérationnalise la théorie de la zone proximale de développement au travers d'un espace vectoriel multidimensionnel associé à des croyances, qui sont elles-mêmes mises à jour à chaque tâche de l'apprenant au sein de l'environnement virtuel. Le système observe les états du monde pour déterminer quelles situations peuvent prendre place afin de répondre aux besoins de la ZPD et des objectifs pédagogiques. Nous proposons un exemple d'utilisation dans une application de formation aux assistantes de vie et poursuivons l'implémentation d'un prototype au sein de la plateforme HUMANS. La sélection des activités n'est que la première partie de nos travaux. Fournir du contenu adapté à l'apprenant est essentiel, encore faut-il impliquer l'apprenant en

utilisant des facteurs motivationnelles. L'une des approches possibles est de moduler la tension dramatique. Pour créer, de la tension, les événements décrits dans la simulation doivent raconter une histoire. En faisant en sorte que les personnages virtuels apparaissent tels les personnages d'une intrigue et que les événements soient les nœuds de l'intrigue qui augmentent ou allègent l'intensité dramatique, on implique l'apprenant davantage, ce qui est susceptible de le motiver. En utilisant des modèles narratifs tels que décrits par [CAMPBELL 08], nous pourrions enrichir les contraintes situationnelles avec des éléments tels que les *lieux*, *adjuvants*, *opposants*, *quêtes*, etc.

Remerciements

Ces travaux s'insèrent dans le cadre du projet ANR NIKITA (Natural Interaction, Knowledge and Immersive systems for Training in Aeronautic), dans lequel sont également partenaires l'Université Paris Descartes, le CEA-LIST, Emissive ainsi qu'EADS. Nous remercions M. Andribet et G. Michel de l'AFPA pour avoir fourni les informations nécessaire à la complétion de nos modèles.

7. Bibliographie

- [AMOKRANE 09] Amokrane, K., Lourdeaux, D., « Virtual Reality contribution to training and risk prevention », *Proceedings of the 2009 International Conference on Artificial Intelligence ICAI'09*, Las Vegas, 13-16 Juillet 2009, p726-732.
- [AMOKRANE 10] Amokrane, K., Lourdeaux, D., « Pedagogical system in virtual environment for high-risk sites », *Proceedings of the Second International Conference on Agent and Artificial Intelligence ICAART'10*, Valence, Espagne, 2010.
- [BAROT 11] Barot, C., Burckhardt, J.-M., Lourdeaux, D., Lenne, D., « V3S, a virtual environment for risk management training », *Proceedings of the 17th Joint Virtual Reality Conference of EGVE – EuroVR JVRC'11* Nottingham, 2011.
- [BAROT 13] Barot, C., Lourdeaux, D., Lenne, D., « Dynamic scenario adaptation balancing control, coherence and emergence », *Proceedings of the 5th International Conference on Agent and Artificial Intelligence ICAART'13*, Barcelone, 15-18 Février 2013.
- [CAMPBELL 08] Campbell, J., *The Hero With a Thousand Faces*, New World Library, 2008.
- [CSIKSZENTMIHALYI 91] Csikszentmihalyi, M., *Flow: The psychology of optimal experience*, Harper Perennial, 1991.
- [DOIGNON & FALMAGNE 85] Doignon, J.-P., Falmagne J.-C., « Spaces for the Assessment of Knowledge », *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 3, n°2, 1985, p. 175-196.
- [GERBAUD et al. 08] Gerbaud, S., Mollet, N., Ganier, F., Arnaldi, B., and Tisseau, J., « GVT : a platform to create virtual environments for procedural training », *Proceedings of IEEE VR 2008*.
- [LANQUEPIN et al. 13] Lanquepin, V., Lourdeaux, D., Barot, C., Carpentier, K., Amokrane K., « HUMANS : a HUMAN Models based Artificial eNvironments Software platform », *Proceedings of Virtual Reality International Conference VRIC'13*, Laval, 20-22 Mars 2013.
- [MARION 10] Marion, N., Modélisation de scénarios pédagogiques pour les environnements de réalité virtuelle d'apprentissage humain, Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 2010, 185 p.
- [NIEHAUS et al. 11] Niehaus, J. M., Li, B., and Riedl, M. O., « Automated scenario adaptation in support of intelligent tutoring systems », *Proceedings of the 24th Conference of the Florida Artificial Intelligence Research Society FLAIRS'11*, Palm Beach, 2011, p. 164-171.
- [SHAWVER 97] Shawver, D., « Virtual actors and avatars in a flexible user-determined-scenario environment », *Proceedings of the 1997 Virtual Reality Annual International Symposium*, 1997.
- [SMETS & KENNES] Smets, P., Kennes, R., « The transferable belief model », *Artificial Intelligence*, vol. 66, n°2, Elsevier, 1994, p. 191-234.
- [VYGOTSKY 78] Vygotsky, L. S., *Mind in Society*. Harvard University Press, 1978.