

Commentaires sur l'envoi de patrice :

Comment on détermine les attracteurs d'une situation

Les minima énergétiques vers lesquels les trajectoires comportementales sont attirés

Definition de la situation type

Le but visé

La charge physique et mentale

La saisie d'images (environnement physique)

Le comportement (mouvements)

On crée une situation « normal » on constate des pôles d'attraction (d'économie)

On modifie les paramètres pour voir comment ces pôles vont fluctuer

—

Cyberdeck est une plate-forme logicielle conçue pour le développement sur mesure d'applications en réalité virtuelle. Les différentes fonctions du logiciel permettent d'importer des modèles 3D et de les rendre interactifs en temps réel.

L'utilisateur peut alors circuler dans un espace 3D virtuel et manipuler en temps réel les objets et autres composantes qui s'y trouvent: couleurs, formes, positionnement, éclairage, etc... La simulation est générée à partir de la lecture que le système fait de la voix et des gestes de l'utilisateur et ce monde virtuel est présenté sous forme visuelle et acoustique à travers un casque HMD (Head Mounted Display)

Il interagit avec sa voix, ainsi qu'avec ce monde avec des senseurs qui font la lecture du positionnement de son corps, avec,

Cyberdeck permet de circuler dans un espace 3D virtuel et de manipuler en temps réel les objets et les composantes de cet environnement: couleurs, formes, positionnement, éclairage, etc... Cette plate-forme fournit un cadre ainsi que divers outils nécessaires à la construction et à la simulation d'environnements virtuels.

Les applications permettent aussi d'accomplir différentes tâches telles la gestion simultanée d'univers virtuels multiples et de multi-utilisateurs. Les applications de réalité virtuelle conçues à l'aide de Cyberdeck comprennent entre autres un environnement interactif en temps réel permettant aux designers d'explorer et de manipuler des espaces.

Ce projet consiste en une plate-forme logiciel conçue pour le développement d'applications en réalité virtuelle. Cyberdeck permet de circuler dans un espace 3D virtuel et de manipuler en temps réel les objets et autres composantes qui s'y trouvent: couleurs, formes, positionnement, éclairage, etc... Cette plate-forme fournit un cadre ainsi que divers outils nécessaires à la construction et à l'utilisation d'environnements virtuels.

L'utilisateur peut naviguer d'un espace virtuel à un autre de façon transparente, il peut se promener librement ou suivre différents types de parcours pré-déterminés. Les fonctionnalités de ce logiciel permettent à plusieurs usagers d'interagir ensemble à distance, de s'échanger des messages et de transformer l'organisation de l'environnement qu'ils partagent.

---

**Titre : La prévention des chutes en hauteur : Élaboration et vérification d'un modèle de la coordination visuo-motrice.**

**1. 1. Problème à résoudre, origine, importance et objectifs spécifiques du projet**

Les accidents au travail engendrent des coûts financiers et humains énormes pour la société. Parmi les différents types d'accident retrouvés dans le secteur du bâtiment et des travaux publics, la chute en hauteur représente l'événement le plus typique et le plus fréquent occasionnant blessures et décès chez les travailleurs. C'est le type d'accident requérant le plus grand nombre d'hospitalisations et d'invalidités permanentes. Les chutes en hauteur sont les accidents demandant les plus longues durées d'indemnisation, en fait, deux fois plus longues que la moyenne des indemnisations recensées (Toulouse *et al.*, 1993). Les coûts directs associés à une seule chute en hauteur tourne autour de \$250 000, et en comptant les coûts indirects on arrive à un total de près de \$500 000 par chute (Sabourin, 1997).

Le présent projet trouve sa source à la rencontre de trois secteurs de recherche scientifique distincts, à savoir l'intelligence artificielle, la réalité virtuelle et l'ergonomie. Cette demande de subvention provient du milieu universitaire et implique des chercheurs issus de la psychologie, du design infographique et de l'ergonomie. Il s'agit ici d'un programme de recherche visant à comprendre la dynamique perceptivo-motrice fondamentale à l'œuvre dans le maintien de l'équilibre posturale, de même que les régimes particuliers de cette dynamique lorsqu'elle défaille.

L'objectif spécifique de ce projet est d'élaborer un système permettant l'analyse et la reconnaissance de patterns de coordination motrice typiques à la perte d'équilibre en hauteur. C'est à travers l'examen de la dynamique propre aux déplacements dans des environnements virtuels tridimensionnels que seront analysés les comportements de sujets humains. La coordination motrice en milieu simulé peut être comprise dans la mesure où l'information disponible dans la structure du réseau optique guide l'action en spécifiant le focus attentionnel de l'organisme concerné. La perception et l'action sont dans ce contexte intimement liées dans

les réactions de l'organisme face aux variations texturales retrouvées dans le flux optique. La création d'environnements virtuels tridimensionnels où sont simulées des surfaces étroites et restreintes situées en hauteur permettra donc de susciter des réactions similaires à celles retrouvées dans les milieux physiques problématiques (plate-forme, bord de toit, poutre et pylône). Les conditions limites précédant la perte d'équilibre pourront être explorées en suivant le processus de défaillance menant à la chute.

Des expérimentations, qui pour des raisons éthiques et pratiques ne peuvent être faites en milieu réel, pourront être effectuées de manière rigoureuse et contrôlée tout en préservant la validité externe des résultats. L'utilisation des technologies propres à la réalité virtuelle et aux réseaux de neurones artificiels, à leur niveau actuel de développement respectif, rend possible une investigation scientifique du problème des chutes en hauteur impossible auparavant.

## **1. 1. Hypothèse de recherche : État de la question**

Chaque mouvement du corps prend place dans une situation donnée et s'insère dans un ensemble postural particulier. La psychologie écologique conçoit la perception de l'environnement sur un mode direct où l'organisme déploie des séquences comportementales données en fonction des caractéristiques physiques de l'environnement s'offrant à lui (Chiel et Beer, 1997). Dans cette conception, la coordination motrice et la stabilité posturale sont conditionnées par la saisie d'informations présentes dans le champ visuel ainsi que par la dynamique intrinsèque des segments corporels impliqués dans la séquence comportementale requise (Beer, 1995; Schöner, 1995).

Le modèle de Schöner (1995) caractérisant le contrôle des effecteurs comprend trois niveaux : le but visé, la synchronisation et la charge de travail. Chacun de ces niveaux est défini comme un système fonctionnel ayant pour effet de stabiliser des variables comportementales spécifiques, et ce en réaction à des perturbations exogènes apportées à ces niveaux. Globalement, la coordination motrice visant le maintien de la stabilité posturale agit de façon à garder le centre de gravité de l'organisme dans une limite définie (la base de support; Holbein et Redfern, 1997), laquelle subit des variations en cours de déplacements effectués par l'organisme.

Ce processus d'adaptation continu donne lieu à des patterns de déplacement mesurables. Ces patterns constituent des topologies spatio-temporelles traduisibles en termes d'attracteurs dans la dynamique de la coordination motrice (Kelso, 1997). Ces attracteurs sont assimilables à des minima énergétiques vers lesquels les trajectoires comportementales sont attirées. Les niveaux de Schöner, soit le but visé, la synchronisation et la charge de travail sont des variables à même de faire changer les patterns de déplacement, et par extension les caractéristiques des attracteurs balisant la dynamique comportementale.

Les chutes en hauteur correspondent à des défaillances de la coordination motrice chez les travailleurs. Il semble que certaines conditions limites, correspondant à des couplages perceptivo-moteurs particuliers, induisent chez les travailleurs des déplacements du centre de gravité hors de la base de support.

La reconnaissance des couplages perceptivo-moteurs problématiques passe par l'analyse des topologies spatio-temporelles engendrées par les trajectoires de déplacement moteur, de même que par l'identification des éléments environnementaux suscitant les dynamiques motrices à risque.

L'utilisation conjuguée d'environnements virtuels et de réseaux de neurones artificiels s'avère être la solution optimale pour développer un modèle des causes lointaines à la source des défaillances engendrant les chutes en hauteur chez les travailleurs. L'élaboration et la vérification d'un tel modèle permettra de bonifier tout programme de prévention en la matière.

## 1. 1. Méthodologie et démarches proposées

L'utilisation d'environnements virtuels à des fins d'analyse ergonomique représente une voie incontournable déjà empruntée par plusieurs chercheurs et praticiens (Bennett, 1997; Rajan et al., 1999). La méthodologie en la matière a déjà ses balises (Wann et Rushton, 1995) de même que ses fondements théoriques (Smets, 1995). D'autre part, les réseaux de neurones artificiels constituent des outils puissants et flexibles ayant déjà été mis à contribution dans l'analyse de la coordination motrice et de la posture (Kim et Hemani, 1998; Jung et Park, 1994; Lafuente et al., 1997). La méthodologie de notre projet repose sur l'utilisation combinée de ces deux formes de technologie.

**Cyberdeck**, élaboré au centre ECHO, est une plate-forme logicielle conçue pour le développement sur mesure d'applications en réalité virtuelle. Les différentes fonctions du logiciel permettent d'importer des modèles 3D et de les rendre interactifs en temps réel. L'utilisateur peut alors circuler dans un espace 3D virtuel et manipuler en temps réel les objets et autres composantes qui s'y trouvent: couleurs, formes, positionnement, éclairage, etc. La simulation est générée à partir de la lecture que le système fait de la voix et des gestes de l'utilisateur et ce monde virtuel est présenté sous forme visuelle et acoustique à travers un casque HMD (*Head Mounted Display*). Cette lecture repose sur l'utilisation d'un système de senseurs disposés sur certains organes-cibles des sujets, de même que sur une installation de traqueurs installés au plafond du laboratoire, lesquels traqueurs permettent de localiser les senseurs dans un volume défini.

Les mesures quant au positionnement des sujets dans l'espace simulée seront recueillies de façon continue au cours des mises en situation où seront variées systématiquement différentes conditions de travail en hauteur (les niveaux de Schöner et les caractéristiques environnementales simulées). Tant les trajectoires de déplacement résultant en pertes d'équilibre, que les configurations de positionnement finales associées à ces mêmes pertes d'équilibre seront enregistrées, analysées et mises en relation avec les caractéristiques visuelles perçues " *in situ* " par les sujets.

C'est par le biais de réseaux de neurones artificiels que seront analysées les couplages perceptivo-moteurs induisant des pertes d'équilibre chez les sujets. Plus spécifiquement, des réseaux de neurones artificiels fonctionnant à base de mémoires hétéro-associatives seront utilisés pour associer environnements de travail et patterns moteurs. Les caractéristiques visuelles perçues, soit le groupement de pixels occupant le focus attentionnel des sujets avant la perte d'équilibre, et les données de déplacement et de positionnement recueillies dans le volume de travail seront respectivement utilisées comme entrées et comme sorties des réseaux de neurones. La constitution de matrice de coefficients synaptiques à même de traduire l'association entre les vecteurs d'entrée visuelle et les vecteurs de sortie motrice est ici la clé menant à la compréhension de l'organisation perceptivo-motrice défaillante induisant la perte d'équilibre en hauteur chez les travailleurs.

## **1. 1. Résultats attendus et retombées prévisibles**

La réalisation du projet précédemment décrit permettra d'élaborer un modèle théorique et quantitatif des facteurs dynamiques à la base de la perte d'équilibre en hauteur chez les travailleurs. Le système de reconnaissance des couplages perceptivo-moteurs problématiques, s'appuyant sur les techniques de simulation en réalité virtuelle et sur l'utilisation des réseaux de neurones artificiels, constituera un outil à la fois flexible et puissant. La possibilité de modifier à volonté les paramètres des environnements simulés, conjuguée à la plasticité statistique des réseaux de neurones artificiels permettra de saisir une part plus importante des phénomènes de la coordination motrice et de la stabilité posturale en hauteur, tels qu'ils se produisent en milieu naturel.

Une meilleure compréhension de la perte d'équilibre en hauteur mènera naturellement à des recommandations quant à l'organisation physique des lieux de travail concernés. Ces connaissances quant aux causes lointaines de la défaillance de la coordination motrice donneront en outre plus de profondeur et de fondement à l'élaboration de dispositifs de sécurité adaptés. Ces dispositifs (harnais, ceinture, etc.) pourront également être testés en environnements virtuels afin d'en examiner l'impact sur la dynamique motrice des travailleurs et vérifier si cette dernière s'apparente ou non à celle correspondant aux moments de défaillance menant aux chutes.

La conception d'un tel outil pourra servir de surcroît au design et à la conception d'environnements de travail plus sûrs. La formation des travailleurs en environnements simulés, de même que la réhabilitation de ceux ayant subis des traumatismes, physiques ou psychologiques, peuvent également être envisagées dans un avenir rapproché.



## Références

- BEER, Randall, D. (1995). A dynamical systems perspective on agent-environment interaction. Artificial Intelligence, 72, 173-215.
- BENNETT, G.R. (1997). The application of virtual prototyping in the development of complex aerospace products. Aircraft engineering and aerospace technology, 69 (1), pp.19-25.
- CHIEL, Hillel, J., BEER, Randall, D. (1997). The brain has a body : adaptive behavior emerges from interactions of nervous system, body and environment. Trends in neurosciences, 20, pp. 553-557.
- HOLBEIN, M .A ., REDFERN, M.S. (1997). Functional stability limits while holding load in various positions. International journal of industrial ergonomics, 19, pp. 387-395.
- JUNG, Eui S., PARK, Sungjoon (1994). Prediction of human reach posture using a neural network for ergonomic man models. Computer and industrial engineering, 27 (1), pp. 369-372.
- KELSO, Scott (1997). Dynamic patterns. The self-organization of brain and behavior. MIT Press, Cambridge.
- KIM, Jaywoo, HEMANI, Hooshang (1998). Coordinated three-dimensional motion of the head and torso by dynamic neural networks. IEEE Transactions on systems, man and cybernetics- Part B : Cybernetics, 28 (5), pp. 653-666.
- LAFUENTE, R., BELDA, J .M., SANCHEZ-LACUESTA, J. SOLER, C., PRAT, J. (1997). Design and test of neural networks and statistical classifiers in computer-aided movement analysis : a case study on gait analysis. Clinical biomechanics, 13 (3), pp. 216-229.
- RAJAN, N. Venkat, SIVASUBRAMANIAN, Kadiresan, FERNANDEZ, JEFFREY E. (1999). Accessibility and ergonomics analysis of assembly product and jig designs. International journal of industrial ergonomics, 23, pp. 473-487.
- SABOURIN, Guy (1997). Pour en finir avec les chutes. Prévention au Travail, mars-avril, pp. 7-12.
- SCHÖNER, Gregor (1995). Recent developments and problems in human movement science and their conceptual implications. Ecological psychology, 7 (4), pp. 291-314.
- SMETS, Gerda (1995). Industrial design engineering and the theory of direct perception and action. Ecological psychology, 7 (4), pp. 329-374.
- TOULOUSE, Georges, CHICOINE, Denise, LAN, André (1993). Études des accidents mortels et graves dans le bâtiment et les travaux publics. Rapport R-048, Institut de Recherche en Santé et Sécurité au Travail du Québec.
- WANN, John P., RUSHTON, Simon K. (1995). The use of virtual environments in perception action research : grasping the impossible and controlling the improbable. In Glencross, D.J. et Pick, J.P. (Eds) Motor control and memory integration : issues and directions. (pp. 341-360), New-York : Elsevier science.

IRSST

Simulation of industrial accidents

INFO

- 1 IRSST Scaffolding Simulation 2000 1 min 06 s
- 2 IRSST Vehicule(?) Simulation 2000 0 min 42 s

FRFRFR

313 IRSST Simulation d'échafaudage 2000  
1 min 06 s

MOV TXT FR

**(manque)**

314 IRSST Simulation d'un véhicule 2000  
0 min 42 s

MOV TXT FR

**(un peu de noir à la fin enlevé)**

**(manque)**

Cyberdeck est une plate-forme logiciel conçue pour le développement sur mesure d'applications en réalité virtuelle. Les différentes fonctions du logiciel permettent d'importer des modèles 3D et de les rendre interactifs en temps réel. L'utilisateur peut alors circuler dans un espace 3D virtuel et manipuler en temps réel les objets et autres composantes qui s'y trouvent: couleurs, formes, positionnement, éclairage, etc... La simulation est générée à partir de la lecture que le système fait de la voix et des gestes de l'utilisateur et ce monde virtuel est présenté sous forme visuelle et acoustique à travers un casque HMD (Head Mounted Display)