

# Cybercinétose en milieu professionnel

EN  
RÉSUMÉ

L'exposition à la réalité virtuelle peut déclencher un ensemble de symptômes proches de ceux du mal des transports (nausées, vertiges, sueurs) et appelé mal de la réalité virtuelle ou cybercinétose. Il est possible d'évaluer la cybercinétose à travers de nombreux outils pour connaître son impact et sa sévérité. Les salariés sont exposés en tant qu'utilisateurs d'applications de réalité virtuelle, notamment dans des objectifs de formation et de prévention. Ils peuvent l'être également dans le cadre d'activités récréatives. Des pistes pour limiter la cybercinétose sont énoncées.

## AUTEUR :

L. Brun, laboratoire Ergonomie et psychologie appliquées à la prévention (EPAP), département Homme au travail, INRS

## MOTS CLÉS

Technologie avancée / Organisation du travail

Les technologies de réalité virtuelle (RV) sont aujourd'hui intégrées dans divers secteurs professionnels. Elles sont utilisées en complément des outils traditionnels, par exemple pour la formation, la prévention, le soin ou la conception des postes de travail. Elles ouvrent de nouvelles perspectives sur les modes de travail avec des caractéristiques d'immersion, d'interaction et d'appropriation physique d'un environnement déterminé. Elles constituent ainsi un lien dans l'expérience professionnelle entre les éléments théoriques conceptuels et les éléments pratiques de terrain. Cependant, de 20 à 80 % des utilisateurs de RV souffrent du mal de la réalité virtuelle, appelé aussi cybercinétose [1]. Les symptômes de la cybercinétose sont proches de ceux du mal des transports et leurs effets peuvent persister plusieurs heures voire plusieurs jours selon la durée d'exposition à l'environnement virtuel. L'usage de la RV est donc susceptible de perturber l'activité à court terme. Cet aspect nécessite d'être attentif à la façon dont elle est déployée auprès des utilisateurs en termes de temporalité et de contenu ; ce qui pourrait également impacter l'utilisation récréative de cette technologie.

1. La « Hype Cycle » de Gartner est une courbe qui détermine le cycle de vie des technologies et permet de situer l'évolution de chacune d'entre elles.

2. L'haptique désigne le sens du toucher et les phénomènes kinesthésiques, c'est-à-dire la perception du corps dans l'environnement.

## QU'EST-CE QUE LA RÉALITÉ VIRTUELLE ?

La RV apparaît comme une technologie mature d'après la courbe de Gartner<sup>1</sup> [2] pour les technologies émergentes. L'expression « réalité virtuelle » revêt un sens paradoxal en associant deux termes qui semblent opposés. Elle correspond à la construction d'un monde artificiel en trois dimensions et permet d'immerger l'utilisateur dans cet environnement de synthèse avec lequel il peut interagir. L'utilisateur est capable de modifier l'environnement virtuel (EV) mais est aussi impacté à travers des stimulus de retour haptiques<sup>2</sup>. Des dispositifs, tels que des *joysticks*, des gants, des pédales à retour d'effort et d'autres outils spécialisés permettent ces interactions.

Plusieurs technologies existent pour immerger totalement ou partiellement l'utilisateur dans un EV :

- les casques de réalité virtuelle, visiocasques ou casques HMD (*Head Mounted Display*) permettent de recréer l'effet tridimensionnel de l'environnement. L'utilisateur est complètement immergé dans le monde qui s'affiche devant ses yeux. Deux petits écrans (un pour chaque œil) lui fournissent une

vision en relief (ou stéréoscopique) du monde virtuel ;

- les lunettes polarisantes permettent de conserver l'avantage de la vision en relief tout en n'immergeant pas totalement l'utilisateur dans le monde virtuel. Équipé de ce type de lunettes, l'utilisateur peut visualiser des images en relief sur un écran classique ;

- les salles immersives sont constituées d'écrans projetés sur toutes les surfaces (murs, sol et plafond) avec des capteurs de position de la personne.

### LES AVANTAGES

La RV apporte plusieurs avantages en proposant une expérience immersive et ludique dans un environnement sécurisé en grandeur réelle. En matière de formation ou de prévention des risques professionnels par exemple, cela permet de pousser la simulation jusqu'à l'accident, sans mettre en danger la personne qui utilise l'outil. De plus, l'information en trois dimensions peut être présentée de façon flexible. Ainsi, la RV permet d'engager le corps dans la simulation, impliquant l'utilisateur physiquement, et, par exemple, de le former au geste.

### LES LIMITES

Cependant, malgré une démocratisation qui assure une plus grande accessibilité, la RV soulève, d'une part, le problème de la fracture numérique avec certaines populations, surtout en situation de précarité [3] et, d'autre part, elle ne couvre pas tous les aspects d'une problématique donnée (de formation, de prévention, d'éducation, de thérapie...). Elle doit donc être utilisée comme une méthode complémentaire dans une démarche globale. Enfin, elle peut déclencher la cybercinétose chez certains utilisateurs, ce qui en limite la durée d'utilisation.

## LA RÉALITÉ VIRTUELLE COMME OUTIL PROFESSIONNEL

Les technologies de RV sont déployées dans de nombreux domaines, en particulier le divertissement (jeux vidéo), mais aussi le domaine médical, la culture, le marketing, la formation, la conception et le développement. Au près des salariés, la RV est largement utilisée comme outil de formation et, dans une moindre mesure, comme outil de prévention.

### LA FORMATION

Les technologies de RV favorisent de nouveaux modes d'apprentissage, permettant de concrétiser l'invisible pour mieux s'approprier l'environnement de travail réel. Elles présentent de nombreux avantages pour la formation. Elles offrent notamment la possibilité de simuler l'activité sans danger réel, la reproductibilité de situations rares, difficiles ou chères à recréer, la flexibilité dans la présentation de l'information, ou encore le contrôle précis des paramètres de la simulation afin de reproduire des situations particulières [4]. Elles permettent aussi d'améliorer l'apprentissage en termes d'écoute active, d'attention, de gain de temps [5] et de motivation.

Historiquement, les simulateurs informatiques constituent les premières applications de technologies informatiques ayant donné naissance aux EV d'apprentissage. L'un des principaux avantages de ces systèmes est de pouvoir changer les contextes de pratique et de déclencher des événements, comme des perturbations externes, des dysfonctionnements ou des pannes. Ils permettent de reproduire de manière très réaliste des parties du réel. Les variables de

situation sont contrôlées par les instructeurs. Les simulations sont donc bien plus flexibles que les situations réelles [4]. Par exemple, les simulateurs de vol pleine-échelle, qui utilisent de vrais *cockpits* d'avion, placent l'apprenant dans une situation proche du vol réel. Le simulateur est alors supposé réagir comme le système réel qu'il figure, permettant un apprentissage utilisable en situation réelle.

Par rapport à d'autres médias informatiques, la RV permet d'engager le corps dans la simulation et constitue ainsi un support pour la formation au geste. Elle permet, en plus, de faciliter les apprentissages grâce à l'enrichissement de la réalité. Grâce à leurs fonctionnalités pédagogiques, les outils de RV servent ainsi à la validation des compétences.

La RV comme outil de formation est déployée dans de nombreux secteurs professionnels :

- l'éducation [5, 6], notamment les apprentissages en situation de handicap [7] ;
- la médecine, en particulier pour les procédures chirurgicales et autres procédures interventionnelles [8, 9] ;
- l'armée et les forces de l'ordre (par exemple la police aux États-Unis [10] ou en Allemagne [11]) ;
- l'industrie, par exemple pour former à la réalisation de la tâche de soudage [12], au travail avec des robots industriels [13], à la conduite de chariots élévateurs [14], pour former des opérateurs en centrale nucléaire [15] ou encore dans l'industrie minière [16, 17] ;
- la grande distribution (par exemple le groupe Walmart aux États-Unis [18]).

### LA PRÉVENTION

L'utilisation de la RV dans le dispositif de prévention est liée à la

conception des outils et des postes de travail ou constitue une déclinaison de son application en formation, ici appliquée aux risques professionnels.

Pour le versant conception, la RV permet de mieux appréhender les futures interactions homme-système-environnement en faisant intervenir physiquement l'opérateur dans le cycle de conception. La conception assistée par RV permet d'identifier certains risques relatifs à l'utilisation d'équipements de travail avant leur phase de prototypage physique. Par exemple, des simulations de montage et démontage de pièces dans des applications automobile et aéronautique, avec des systèmes à retours d'effort, facilitent l'identification des futures fonctions d'usage et la rétroaction en conception. Au travers de tels outils, le processus de conception devrait s'enrichir d'une composante humaine, en passant de la prise en compte du système technique au système de travail dans sa globalité [19]. De plus, en tant qu'instrument d'échange d'informations, les maquettes et environnements virtuels jouent un rôle important dans la communication et la coordination entre préventeurs et ingénieurs [20].

Concernant la formation, il s'agit de d'identifier les risques professionnels rencontrés par les salariés dans leur travail en les formalisant de façon virtuelle. Les personnes ne sont pas formées à l'apprentissage d'un métier de façon globale mais à la gestion des risques susceptibles d'être rencontrés dans leur cadre professionnel. La formation à la prévention des risques à travers la RV est présente dans plusieurs secteurs : par exemple, la prévention des risques chimiques [20], celle des risques sur chantier [21] ou celle des troubles musculosquelettiques [22].

## QU'EST-CE QUE LA CYBERCINÉTOSE ?

L'utilisation de la RV engendre chez certains utilisateurs des symptômes proches de ceux du mal des transports ou cinétose, à la fois pendant et après l'expérience de RV [23]. Ce type de maladie, appelée cybercinétose, cybermaladie (*cybersickness* en anglais) ou mal de la RV, est différent du mal des transports dans la mesure où l'utilisateur est souvent immobile mais a une sensation irrésistible de mouvement à travers une imagerie visuelle mouvante. De 20 à 80 % des utilisateurs de RV sont sujets au mal de la réalité virtuelle [1].

Les symptômes de la cybercinétose sont nombreux. Ils incluent fatigue visuelle ou troubles oculomoteurs, maux de tête, pâleur, sueurs, sécheresse de la bouche, sensation d'estomac plein, désorientation, vertige, ataxie (déséquilibre postural ou manque de coordination), nausées et vomissements [23, 24]. Les symptômes de la cybercinétose apparaissent d'une gravité plus élevée que ceux de la cinétose [25], approximativement trois fois plus d'après Stanney et al. [26].

Ces effets indésirables peuvent se manifester pendant plusieurs heures [23, 27] et, dans certains cas, pendant plusieurs jours [28, 29]. Plus la durée d'exposition à la RV est longue, plus les symptômes sont susceptibles de persister. De ce fait, plusieurs bases aériennes ont mis en place des politiques « au sol » obligatoires qui stipulent qu'un pilote ne peut pas piloter un avion pendant 12 à 24 heures après l'exposition à un simulateur de vol en EV. Pour les mêmes raisons, plusieurs centres d'entraînement en EV exigent que les utilisateurs ne conduisent pas avant au moins 30 à 45 minutes après l'exposition [23].

De nombreux facteurs peuvent déclencher la cybercinétose et il n'existe pas de méthode infaillible pour éliminer le problème.

## D'OÙ VIENT LA CYBERCINÉTOSE ?

Trois théories principales sont avancées pour expliquer les causes de la cybercinétose : la théorie du conflit sensoriel, celle du poison et celle de l'instabilité posturale.

### LA THÉORIE DU CONFLIT SENSORIEL

Cette théorie est la plus ancienne et reconnue des théories liées au mal des transports et à la cybercinétose [30 à 32]. Elle se base sur le postulat que les écarts entre les informations sensorielles relatives à l'orientation du corps et celles relatives au mouvement entraînent un conflit perceptuel que le corps ne sait pas comment gérer. Dans la cybercinétose et la cinétose, les systèmes sensoriels qui entrent en conflit sont le sens de l'équilibre (perçu au moyen du système vestibulaire situé dans l'oreille interne), le sens de la proprioception (perception de la position relative des membres dans l'espace) et la vision.

Bien que la théorie du conflit sensoriel constitue l'explication la plus largement acceptée de la cybercinétose, elle présente des limites, et, notamment, n'explique pas pourquoi certains individus sont malades et d'autres non dans des conditions similaires.

### LA THÉORIE DU POISON

La théorie du poison propose une explication sur les raisons de la survenue du mal des transports et du mal de la RV d'un point de vue évolutionniste [33]. L'ingestion de poison provoque des effets physio-

## Cybercinétose en milieu professionnel

logiques impliquant notamment la coordination des systèmes visuel et vestibulaire. Ces effets physiologiques agissent comme un signal d'alarme précoce qui augmente la survie de l'individu en déclenchant le vidage du contenu de son estomac pour en retirer les toxines. Dans certains EV, les systèmes visuel et vestibulaire sont perturbés d'une façon telle que le corps décode mal l'information et l'interprète comme une intoxication, ce qui est susceptible de déclencher une réponse adaptative se traduisant par un vomissement.

Comme la théorie du conflit sensoriel, celle du poison n'explique pas non plus les raisons pour lesquelles certaines personnes sont malades et d'autres non dans des EV aux stimulus identiques.

### LA THÉORIE DE L'INSTABILITÉ POSTURALE

Développée par Riccio et Stoffregen [34], cette théorie est centrée sur l'idée que l'un des buts comportementaux primaires chez l'homme est de maintenir une stabilité posturale dans l'environnement.

Elle suggère que les malaises dus à la cinétose et à la cybercinétose sont causés par une instabilité posturale prolongée. Cette théorie prédit l'apparition des instabilités posturales avant celle de la cinétose : « *ce n'est pas parce que nous sommes malades que nous sommes instables, c'est parce que nous sommes instables que nous sommes malades* » [35, 36]. La sévérité des symptômes augmente directement avec la durée de l'instabilité : plus celle-ci est longue, plus les symptômes seront sévères.

La théorie de l'instabilité posturale contredit celle du conflit sensoriel. Selon la théorie de l'instabilité posturale, les systèmes visuel et vestibulaire sont en accord s'ils reçoivent des informations redon-

dantes. Ainsi, si les deux systèmes sont en désaccord, c'est que l'information n'est pas redondante. Dans de nombreux cas, cette non redondance de l'information n'induit pas de cinétose (par exemple lorsque l'on prend un ascenseur, un tapis roulant ou un escalateur). Les résultats des études sur la théorie de l'instabilité posturale sont contradictoires, certains la soutenant [37 à 40], d'autres la contredisant [41].

### FACTEURS CONTRIBUTANT À LA CYBERCINÉTOSE

De nombreux facteurs influencent la cybercinétose, sans être directement liés à l'une des trois théories évoquées précédemment.

■ **Les caractéristiques techniques** telles que la distorsion optique, l'erreur de position de suivi de la tête de l'utilisateur, le champ de vision, le scintillement, le taux de rafraîchissement, la résolution ou les oscillations visuelles. Par exemple, pour ce dernier paramètre, la combinaison de la vitesse et de l'amplitude des mouvements visuels influence la sévérité des symptômes de la cybercinétose [42].

■ **Les caractéristiques de l'EV** telles que le réalisme, le niveau de détails, le type de contenu d'action. Ainsi, un niveau de détail élevé dans les graphismes au fort réalisme visuel augmente la cybercinétose [43, 44]. Un contenu d'action fortement dynamique provoque plus de symptômes de cybercinétose qu'un contenu neutre et statique [45].

■ **Les caractéristiques individuelles** telles que l'expérience, le genre, la dépendance à l'égard du champ<sup>3</sup>, l'âge, l'état de santé, la capacité de rotation mentale<sup>4</sup>, la stabilité posturale et la sensibilité au mal des transports. Les femmes ressentent la cybercinétose plus fortement que les hommes [38] et y sont plus sujettes [46, 47]. En ce

qui concerne la modulation émotionnelle et cognitive, la tendance à exagérer la douleur d'un individu est corrélée positivement à son histoire de mal des transports et à son ressenti de cybercinétose [48].

■ **La durée d'exposition à l'EV.** De façon prévisible, il est généralement observé que la durée a un effet cumulatif sur les symptômes et reste actuellement l'une des meilleures manières d'en contrôler la sévérité ou l'impact.

■ **La fréquence d'exposition à l'EV.** Généralement, si les sessions d'exposition sont suffisamment proches dans le temps les unes des autres, un phénomène d'adaptation se produit et les symptômes s'atténuent.

■ **Les facteurs « cinématiques »** [49] font référence à toutes les variations dans le contenu de la scène et aux interactions sujet-système qui sont affectées par ce que le sujet fait pendant la simulation. La position du sujet dans l'EV (assis ou debout) peut aussi jouer un rôle dans la sensibilité individuelle à la cybercinétose. La position assise semble être préférable pour réduire les symptômes de cybercinétose dans la mesure où elle réduit les demandes de contrôle postural (voir la théorie de l'instabilité posturale présentée précédemment). Lorsqu'il y a plusieurs utilisateurs simultanément dans l'EV, ceux qui agissent sont moins susceptibles de souffrir de cybercinétose que les participants passifs [50].

*3. La dépendance à l'égard du champ est un style perceptif lié à la verticalité. Pour déterminer la verticale, les personnes « dépendantes à l'égard du champ » se basent sur des indices internes corporels alors que les personnes « dépendantes à l'égard du champ » se basent sur des indices externes environnementaux.*

*4. La rotation mentale est la capacité à se représenter dans l'espace des objets en 2 ou 3 dimensions et à les faire tourner mentalement en lien avec la représentation visuelle de telles rotations.*

### COMMENT ÉVALUER LA CYBERCINÉTOSE ?

Les symptômes du mal de la RV peuvent être évalués par des auto-évaluations subjectives et par des mesures objectives de variations de paramètres physiologiques.

Le questionnaire du mal du simulateur (*Simulator Sickness Questionnaire* - SSQ [51, 52]), dérivé du questionnaire du mal des transports (*Motion Sickness Questionnaire* - MSQ [53]), est le questionnaire d'auto-évaluation le plus fréquemment utilisé pour mesurer le mal du simulateur et la cybercinétose. À l'origine, il a été développé pour évaluer le degré des symptômes dans différents simulateurs de vol [54] et a été utilisé avec succès dans d'autres domaines, comme les simulateurs de conduite [55] et la réhabilitation dans des EV [56]. Il consiste en 16 symptômes notés sur une échelle en 4 points (aucun, léger, modéré et sévère). Les scores sur chaque échelle sont cumulés pour former un score total de maladie (SSQ-T) et trois sous-scores – Nausée (SSQ-N), Oculomoteur (SSQ-O) et Désorientation (SSQ-D) – en accord avec la formule donnée par Kennedy et al. [51]. Pour évaluer de façon plus pertinente les symptômes déclenchés par l'exposition à la RV, Kim et al. [25] ont élaboré un questionnaire de mesure de la cybercinétose : le *Virtual Reality Sickness Questionnaire* - VRSQ, basé sur le questionnaire SSQ. Il consiste en 9 items, inclus dans deux composants, à savoir Oculomoteur et Désorientation. La méthode de l'échelle subjective d'unités de détresse (*Subjective Unit of Distress Scale* - SUDS [57, 58]) est bien plus simple mais cependant aussi efficace que le SSQ pour mesurer à la fois l'inconfort physique et émotionnel. Alors que le SSQ est une méthode basée sur des questions multiples, la SUDS ne comporte qu'une seule question d'échelle linéaire, allant typiquement de 0 à 100, 0 indiquant l'absence d'une détresse et 100 une détresse maximale. Il est ainsi facile et rapide de l'implémenter [59]. Elle a été utilisée avec succès dans

différents champs de recherche, y compris la mesure de la détresse dans des applications de RV [45, 60]. L'échelle visuelle analogique (*Visual Analogue Scale* - VAS [61]) constitue une autre alternative basée sur un unique item pour évaluer les niveaux d'inconfort subjectif.

Le questionnaire de profil de nausée (*Nausea Profile questionnaire* - NP [62]) est aussi largement utilisé. Il consiste en 17 descripteurs évalués sur une échelle de 0 (pas du tout) à 9 (sévèrement).

La mesure de paramètres psychophysiologicals, tels que la fréquence cardiaque, la fréquence et l'amplitude respiratoires, la température cutanée et la réponse en conductance cutanée<sup>5</sup> (*Skin Conductance Response* - SCR), apportent un autre éclairage sur la cybercinétose [63]. Son effet apparaît particulièrement lorsqu'on mesure la SCR [45, 64, 65]. D'autres indices comme l'activité gastrique [66, 67] et la pâleur du visage [68] varient aussi lors de la cybercinétose.

Enfin, ces évaluations des symptômes du mal de la RV peuvent être complétées par celle de l'expérience perçue par l'utilisateur. En effet, c'est de la qualité de l'expérience de l'utilisateur final que dépendent le succès et l'adoption des technologies de réalité virtuelle. Somrak et al. [59] ont utilisé le questionnaire d'expérience utilisateur (*User Experience Questionnaire* - UEQ [69]) qui permet une évaluation rapide de l'expérience de l'utilisateur avec des produits interactifs et donne un aperçu des aspects plus complexes de l'expérience utilisateur. Le format du questionnaire fournit un support aux utilisateurs pour exprimer immédiatement leurs ressentis, impressions et attitudes qui surviennent lorsqu'ils utilisent un produit. Les échelles du questionnaire couvrent de façon

exhaustive l'expérience de l'utilisateur, c'est-à-dire qu'elles mesurent à la fois les aspects d'utilisabilité classiques (efficacité, efficacité, satisfaction, fiabilité) et les aspects d'expérience utilisateur (originalité et stimulation).

## COMMENT LIMITER LA CYBERCINÉTOSE ?

Plusieurs stratégies permettent de réduire les effets de la cybercinétose ([encadré 1 page suivante](#)). L'approche la plus communément utilisée est celle d'un programme d'adaptation à l'EV [71]. En augmentant progressivement le temps d'exposition à l'EV, les utilisateurs s'y adaptent et les symptômes de la cybercinétose s'estompent, voire disparaissent. Par exemple, en mesurant les effets de cybercinétose par le questionnaire SSQ présenté précédemment, Moraes et Paivia [72] observent que le premier contact avec le dispositif de RV est généralement l'expérience évaluée comme étant la pire pour les participants qui rapportent de sévères nausées, des vertiges, un inconfort général et des sueurs. L'intensité de ces symptômes décroît au cours des différentes sessions jusqu'à disparaître complètement. Malheureusement, ce phénomène d'adaptation ne fonctionne pas dans le sens inverse : il n'aide pas l'utilisateur à se réadapter au monde réel une fois qu'il en a fini avec l'EV.

Limiter la durée d'exposition à l'EV reste également un moyen simple pour limiter les effets de la cybercinétose. Par exemple, dans leur étude sur le traitement des phobies dentaires, Gujjar et al. [73] proposent à leurs participants des pauses de deux minutes toutes les dix minutes lors des sessions.

Le contrôle de la posture permet

*5. La conductance cutanée est un phénomène électrique se produisant à la surface de la peau. Elle est une composante de la réponse électrodermale avec la résistance et le potentiel électrique cutanés.*

## Cybercinétose en milieu professionnel

aussi de réduire les effets de la cybercinétose (voir la théorie de l'instabilité posturale présentée précédemment). Des astuces technologiques telles qu'un nez virtuel entre les deux hémisphères visuels ou un repère fixe offrant un ancrage, ainsi que des scénarios limitant les mouvements saccadés de la tête et des yeux et favorisant des situations de contrôle actif de la posture, limitent la cybercinétose [36]. La position assise semble être préférable à la station debout dans la mesure où elle diminue les demandes de contrôle postural.

### CONCLUSION

Les technologies de RV constituent des outils de travail intéressants en complément de ceux déjà existants et éprouvés. Leur caractère nouveau et les effets indésirables de cybercinétose associés ne permettent pas aujourd'hui d'avoir un recul suffisant sur leur utilisation. Les avantages présentés par la RV sont nombreux et représentent un réel apport, en particulier en terme d'apprentissage. La possibilité d'immerger l'utilisateur dans un environnement artificiel avec lequel il peut interagir, de manipuler, contrôler et mesurer sans risque pour l'utilisateur, de créer des situations dangereuses et répétables ou encore de simuler des interactions avec des agents virtuels sont autant d'éléments attractifs et facilitateurs. La RV n'est cependant pas la réponse à tout et il faut rester vigilant quant aux champs d'application et à la façon de l'intégrer dans des démarches plus globales. Les symptômes de cybercinétose, susceptibles de persister bien après l'exposition, peuvent affecter l'acti-

#### Encadré 1

##### > CONSEILS DE PRÉVENTION (d'après [70])

Dans son travail, Benmehidi [70] n'a pas trouvé de publications faisant référence aux mesures préventives spécifiques au milieu de travail et, néanmoins, d'après les caractéristiques de la maladie ainsi que la connaissance des activités, quelques conseils simples à l'usage des préventeurs sur les lieux du travail et avant l'utilisation de la réalité virtuelle (RV) peuvent être proposés.

Comme pour toute implémentation d'une nouvelle technologie, il s'agira de réinterroger l'organisation du travail, notamment, dans le cas présent, l'articulation des différentes activités effectuées avec les séquences de RV, et de définir des temps de pauses. Il s'agira également d'associer le personnel et ses représentants à l'introduction de cette nouvelle technologie dans les activités de l'entreprise, à leur formation et information.

L'information/formation des salariés portera sur :

- les types des symptômes qui peuvent survenir (nausée, troubles de l'équilibre, fatigue et flou visuel...);
- la durée éventuellement courte de la plupart des symptômes;
- les moyens possibles pour réduire les effets et leurs conséquences; par exemple, la réduction du temps d'immersion durant les premières expériences, puis une augmentation progressive (sans dépasser les 30 min), des pauses toutes les 10 à 20 min, pour mieux s'habituer et l'espacement de ces pratiques tous les 2 à 5 jours;
- le caractère possiblement anxiogène de l'expérience de la RV.

Certains symptômes, notamment les troubles de l'équilibre et les troubles visuels, peuvent durer plus d'une heure, donc il y a lieu d'éviter les déplacements, la conduite et l'utilisation de machines dangereuses, immédiatement après une immersion.

vité ultérieure des utilisateurs, par exemple leurs comportements de conduite automobile ou de réalisation de tâches dangereuses.

Afin de réduire le risque de cybercinétose, des mesures simples peuvent être prises : limiter et contrôler le temps d'exposition à la RV en prévoyant des durées d'exposition courtes (par exemple de 10 à 20 minutes consécutives maximum), proposer des pauses régulières lors des sessions, exposer progressivement les utilisateurs et évaluer le ressenti de cybercinétose après chaque session. Des outils d'évaluation de la cybercinétose plus ou moins approfondis sont disponibles, allant d'un seul

descripteur mesuré sur une échelle linéaire à des questionnaires à plusieurs dimensions. De plus, choisir un EV dont les graphismes sont peu détaillés et faiblement réalistes, et dont le contenu est assez statique, permet de diminuer les symptômes de cybercinétose. Enfin, placer les participants dans une position qui demande peu de contrôle postural (assis plutôt que debout par exemple) réduit également la survenue de la cybercinétose.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | GALLAGHER M, FERRÉ ER - Cybersickness: a Multisensory Integration Perspective. *Multisens Res.* 2018 ; 31 (7) : 645-74.
- 2 | Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017. Gartner, 2017 (<https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/>).
- 3 | ATLAS P, BENMEHIDI M, FUENTES S - Les pratiques innovantes en service de santé au travail interentreprises. 13e Journée nationale de l'AFISST. Paris, le 21 juin 2018. Suivi pour vous TD 260. *Réf Santé Trav.* 2018 ; 156 : 81-88.
- 4 | LOURDEAUX D - Réalité virtuelle et formation. *Techniques de l'ingénieur. TE 5 975v2.* Saint-Denis : Techniques de l'ingénieur ; 2018 : 22 p.
- 5 | INNOCENTI ED, GERONAZZO M, VESCOVI D, NORDAHL R ET AL. - Mobile virtual reality for musical genre learning in primary education. *Comput Educ.* 2019 ; 139 : 102-17.
- 6 | SOUTHGATE E, SMITH SP, CIVIDINO C, SAXBY S ET AL. - Embedding immersive virtual reality in classrooms: Ethical, organisational and educational lessons in bridging research and practice. *Int J Child Comput Interact.* 2019 ; 19 : 19-29.
- 7 | JEFFS TL - Virtual Reality and Special Needs. *Themes Sci Technol Educ.* 2009 ; 2 (1-2) : 253-68.
- 8 | HAMACHER A, KIM SJ, CHO ST, PARDESHI S ET AL. - Application of Virtual, Augmented, and Mixed Reality to Urology. *Int Neurourol J.* 2016 ; 20 (3) : 172-81.
- 9 | PANTELIDIS P, CHORTI A, PAPAGIOUVANNI I, PAPAROUIDAMIS G ET AL. - Virtual and Augmented Reality in Medical Education. In: Tsoulfas G (Ed) - *Medical and Surgical Education. Past, Present and Future.* London : IntechOpen ; 2018 : 77-97, 150 p.
- 10 | GARCIA ET, WARE SG, BAKER LJ - Measuring Presence and Performance in a Virtual Reality Police Use of Force Training Simulation Prototype. Proceedings off The Thirty-Second International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference (FLAIRS-32), 2019 (<https://aaai.org/Library/FLAIRS/flairs19contents.php>).
- 11 | BERTRAM J, MOSKALIUK J, CRESS U - Virtual training: Making reality work? *Comput Human Behav.* 2015 ; 43 : 284-92.
- 12 | DA DALTO L - CS WAVE : la réalité virtuelle pour la formation au soudage. *Techniques de l'ingénieur. Recherche et innovation IN27 v1.* Saint-Denis : Techniques de l'ingénieur ; 2004 : 14 p.
- 13 | NATHANAEL D, MOSIALOS S, VOSNIAKOS GC - Development and evaluation of a virtual training environment for on-line robot programming. *Int J Ind Ergon.* 2016 ; 53 : 274-83.
- 14 | Simchar, simulateur de conduite de chariot élévateur. Former à la prévention des risques de renversement. INRS, 2019 (<http://www.inrs.fr/services/innovation/equipement/simchar.html>).
- 15 | ZHANG J, ZHANG X - Application of Virtual Reality Techniques for Simulation in Nuclear Power Plant. In: Wong WE, Ma T (Eds.) - *Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management.* Springer : New York ; 2013 : 971-76, 1289 p.
- 16 | GRABOWSKI A, JANKOWSKI J - Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners. *Saf Sci.* 2015 ; 72 : 310-14.
- 17 | HUI Z - Head-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry. *Int J Min Sci Technol.* 2017 ; 27 (4) : 717-22.
- 18 | Transform training forever: How to provide engaging learning programs in Virtual Reality. STRIVR, 2019 (<https://www.strivr.com/resources/ebooks/engaging-learning-programs/>).
- 19 | MARC J, BELKACEM N, MARSOT J - Virtual reality: A design tool for enhanced consideration of usability "validation elements". *Saf Sci.* 2007 ; 45 (5) : 589-601.
- 20 | CICCOTELLI J, MARSOT J - Réalité virtuelle et prévention. Appports et tendances. Point de repère PR 17. *Hyg Sécur Trav. Cah Notes Doc.* 2005 ; 199 : 99-111.
- 21 | XIE H, TUDOREANU ME, SHI W - Development of a Virtual Reality Safety-Training System for Construction Workers. In: Proceedings of the 6th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2006), 3-4 August 2006, Orlando, Florida, USA. ITC Digital Library, 2006 (<http://eres.scix.net/pdfs/ff9b.content.00092.pdf>).
- 22 | SISTO, M, ZARE M, OUERHANI N, BOLINHAS C ET AL. - Virtual Reality Serious Game for Musculoskeletal Disorder prevention. In: De Paolis LT, Bourdot P (Eds) - *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. 5<sup>th</sup> International Conference,* Avr 2018, Otranto, Italy, June 24-27, 2018, Proceedings, Part II. Cham : Springer International Publishing AG ; 2018 : 43-59, 724 p.
- 23 | LAVIOLA JJ - A discussion of cybersickness in virtual environments. *SIGCHI Bull.* 2000 ; 32 (1) : 47-56.
- 24 | LAWSON BD - Motion Sickness Symptomatology and Origins. In: Hale KS, Stanney KM (Eds) - *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation, and Applications.* Second Edition. Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group ; 2015 : 531-600, 1 454 p.
- 25 | KIM HK, PARK J, CHOI Y, CHOE M - Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment. *Appl Ergon.* 2018 ; 69 : 66-73.
- 26 | STANNEY KM, KENNEDY RS, DREXLER JM - Cybersickness is not simulator sickness. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet.* 1997 ; 41 (2) : 1138-42.
- 27 | REGAN C - An investigation into nausea and other side-effects of head-coupled immersive virtual reality. *Virtual Reality.* 1995 ; 1 (1) : 17-31.
- 28 | GOWER DW JR, FOWLKES J - Simulator Sickness in the UH-60 (Black Hawk) Flight Simulator. U.S. Army Aeromedical Research Laboratory (USAARL) report N°89-25. Defense Technical Information Center, 1989

## BIBLIOGRAPHIE (suite)

(<https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA214434>).

- 29 | REBENITSCH L, OWEN C - Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Real.* 2016 ; 20 (2) : 101-25.
- 30 | REASON JT, BRAND JJ - Motion Sickness. London: Academic Press ; 1975 : 310 p.
- 31 | REASON JT - Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *J R Soc Med.* 1978 ; 71 (11) : 819-29.
- 32 | OMAN CM - Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory. *Can J Physiol Pharmacol.* 1990 ; 68 (2) : 294-303.
- 33 | TREISMAN M - Motion sickness: an evolutionary hypothesis. *Science.* 1977 ; 197 (4302) : 493-95.
- 34 | RICCIO GE, STOFFREGEN TA - An Ecological Theory of Motion Sickness and Postural Instability. *Ecol Psychol.* 1991 ; 3 (3) : 195-240.
- 35 | STOFFREGEN TA, SMART LJ JR - Postural instability precedes motion sickness. *Brain Res Bull.* 1998 ; 47 (5) : 437-48.
- 36 | BARDY B - La cybercinétose, ou le mal des casques de réalité virtuelle. *The Conversation*, 2017 (<https://theconversation.com/la-cybercinetose-ou-le-mal-des-casques-de-realite-virtuelle-74900>).
- 37 | MERHI O, FAUGLOIRE E, FLANAGAN M, STOFFREGEN TA - Motion sickness, console video games, and head-mounted displays. *Hum Factors.* 2007 ; 49 (5) : 920-34.
- 38 | MUNAFO J, DIEDRICK M, STOFFREGEN TA - The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Exp Brain Res.* 2017 ; 235 (3) : 889-901.
- 39 | ARCIONI B, PALMISANO S, APTHORP D, KIM J - Postural stability predicts the likelihood of cybersickness in active HMD-based virtual reality. *Displays.* 2019 ; 58 : 3-11.
- 40 | WALTER HJ, LI R, MUNAFO J, CURRY C ET AL. - Unstable coupling of body sway with imposed motion precedes visually induced motion sickness. *Hum Mov Sci.* 2019 ; 64 : 389-97.
- 41 | DENNISON MS, D'ZMURA M - Cybersickness without the wobble: Experimental results speak against postural instability theory. *Appl Ergon.* 2017 ; 58 : 215-23.
- 42 | CHEN DJ, BAO B, ZHAO Y, SO RH - Visually induced motion sickness when viewing visual oscillations of different frequencies along the fore-and-aft axis: keeping velocity versus amplitude constant. *Ergonomics.* 2016 ; 59 (4) : 582-90.
- 43 | DAVIS S, NESBITT K, NALIVAOKO E - Comparing the onset of cybersickness using the Oculus Rift and two virtual roller coasters. In: Proceedings of the 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment (IE 2015), Sydney, Australia, 27-30 January 2015. Conferences in Research and Practice in Information Technology (CRPIT), 2015 (<https://crpit.scem.westernsydney.edu.au/confpapers/CRPITV167Davis.pdf>).
- 44 | TIRO A - Effect of visual realism on cybersickness in Virtual Reality. Master's Thesis. Oulu : University of Oulu, Faculty of Information Technology and Electrical Engineering/IS ; 2018 : 49 p.
- 45 | GUNA J, GERSAK G, HUMAR I, SONG J ET AL. - Influence of video content type on users' virtual reality sickness perception and physiological response. *Future Gener Comput Syst.* 2019 ; 91 : 263-76.
- 46 | BIOCCA F - Will Simulation Sickness Slow Down the Diffusion of Virtual Environment Technology? *Presence.* 1992 ; 1 (3) : 334-43.
- 47 | KOSLUCHER F, HAALAND E, MALSCH A, WEBELER J ET AL. - Sex Differences in the Incidence of Motion Sickness Induced by Linear Visual Oscillation. *Aerosol Med Hum Perform.* 2015 ; 86 (9) : 787-93.
- 48 | MITTELSTAEDT JM, WACKER J, STELLING D - Emotional and Cognitive Modulation of Cybersickness: the Role of Pain Catastrophizing and Body Awareness. *Hum Factors.* 2019 ; 61 (2) : 322-36.
- 49 | HIXON WC, NIVEN JI, CORREIA MJ - Kinematics nomenclature for physiological accelerations. With Special Reference to Vestibular Applications. Monograph 14. Naval Aerospace Medical Institute, Naval Aerospace Medical Center. National Aeronautics and Space Administration (NASA), 1966 (<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19670008676.pdf>).
- 50 | LACKNER. J - Human orientation, adaptation, and movement control. In: Motion Sickness, Visual Displays, and Armored Vehicle Design. Aberdeen : U.S. Army Laboratory Command, Ballistic Research Laboratory ; 1990 : 28-50, 116 p.
- 51 | KENNEDY RS, LANE NE, BERBAUM KS, LILIENTHAL MG - Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *Int J Aviat Psychol.* 1993 ; 3 (3) : 203-20.
- 52 | BALK SA, BERTOLA A, INMAN V - Simulator sickness questionnaire: twenty years later. In: Proceedings of the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design : driving assessment 2013, The Sagamore on Lake George, Bolton Landing, New York, USA, June 17-20, 2013. University of Iowa, 2013 (<https://trid.trb.org/view.aspx?id=1261648>).
- 53 | FRANK LH, KENNEDY RS, KELLOGG RS, McCAULEY ME - Simulator sickness: a reaction to a transformed perceptual world. I. Scope of the Problem. EOTR 88-2. Orlando : Essex Corporation, Naval Training Systems Center ; 1983 : 13 p.
- 54 | JOHNSON DM - Introduction to and Review of Simulator Sickness Research. Research Report 1832. Fort Rucker : Rotary-Wing Aviation Research Unit, U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences ; 2005 : 59 p.
- 55 | MCGILL M, NG A, BREWSTER SA - I Am The Passenger: How Visual Motion Cues Can Influence Sickness For In-Car VR. In: Mark G, Fussell S (Eds) - CHI'17. Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York : Association for Computing Machinery ; 2017 : 5655-68, 7098 p.
- 56 | KIM A, DARAKJIAN N,



- 57 | **FINLEY JM** - Walking in fully immersive virtual environments: an evaluation of potential adverse effects in older adults and individuals with Parkinson's disease. *J Neuroeng Rehabil.* 2017 ; 14 (1) : 16.
- 58 | **WOLPE J, LAZARUS AA** - Behavior Therapy Techniques: a Guide to the Treatment of Neuroses. New York : Pergamon Press : New York ; 1966 : 198 p.
- 59 | **MILOSEVIC I, McCABE RE** (Eds) - Phobias: The Psychology of Irrational Fear. Santa Barbara : ABC-CLIO, LLC ; 2015 : 444 p.
- 60 | **SOMRAK A, HUMAR I, HOSSAIN MS, ALHAMID MF ET AL.** - Estimating VR Sickness and user experience using different HMD technologies: an evaluation study. *Future Gener Comput Syst.* 2019 ; 94 : 302-16.
- 61 | **CZERNIAK E, CASPI A, LITVIN M, AMIAZ R ET AL.** - A Novel Treatment of Fear of Flying Using a Large Virtual Reality System. *Aerosp Med Hum Perform.* 2016 ; 87 (4) : 411-16.
- 62 | **BOYLAN P, KIRWAN GH, ROONEY B** - Self-reported discomfort when using commercially targeted virtual reality equipment in discomfort distraction. *Virtual Real.* 2018 ; 22 (4) : 309-14.
- 63 | **MUTH ER, STERN RM, THAYER JF, KOCH KL** - Assessment of the multiple dimensions of nausea: the Nausea Profile (NP). *J Psychosom Res.* 1996 ; 40 (5) : 511-20.
- 64 | **CHESSA M, MAIELLO G, BORSARI A, BEX P** - The Perceptual Quality of the Oculus Rift for Immersive Virtual Reality. *Hum Comput Interact.* 2016 ; 34 (1) : 51-82.
- 65 | **EGAN D, BRENNAN S, BARRETT J, QIAO Y ET AL.** - An evaluation of Heart Rate and ElectroDermal Activity as an objective QoE evaluation method for immersive virtual reality environments. In: Eighth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX). 6-8 June 2016. Lisbon, Portugal. IEEE 2016 (<https://ieeexplore.ieee.org/document/7498964>).
- 66 | **KIM YY, KIM HJ, KIM EN, KO HD ET AL.** - Characteristic changes in the physiological components of cybersickness. *Psychophysiology.* 2005 ; 42 (5) : 616-25.
- 67 | **CHEUNG B, VAITKUS P** - Perspectives of electrogastrography and motion sickness. *Brain Res Bull.* 1998 ; 47 (5) : 421-31.
- 68 | **DENNISON MS, WISTI AZ, D'ZMURA M** - Use of physiological signals to predict cybersickness. *Displays.* 2016 ; 44 : 42-52.
- 69 | **HOLMES SR, KING S, STOTT JRR, CLEMES S** - Facial skin pallor increases during motion sickness. *J Psychophysiol.* 2002 ; 16 (3) : 150-57.
- 70 | **LAUGWITZ B, HELD T, SCHREPP M** - Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In Holzinger A (Ed) – HCI and Usability for Education and Work. 4<sup>th</sup> Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2008, Graz, Austria, November 20-21, 2008. Proceedings. Heidelberg : Springer-Verlag ; 2008 : 63-76, 503 p.
- 71 | **BENMEHIDI M** - La réalité virtuelle en milieu professionnel : Usages, Risques et Moyens de Prévention. Revue de la littérature. Mémoire pour le diplôme d'études spécialisées en médecine du travail. Créteil : Université Paris XII. Faculté de médecine de Créteil (UPEC) ; 2019 : 46 p
- 72 | **McCAULEY ME, SHARKEY TJ** - Cybersickness: Perception of Self-Motion in Virtual Environments. *Presence.* 1992 ; 1 (3) : 311-18.
- 73 | **MORAES T, PAIVIA WS** - Proceedings #17: Immersive Virtual Reality Cognitive Training for Patients with Moderate to Severe Traumatic Brain Injury. *Brain Stimul.* 2019 ; 12 (2) : PE79-E80.
- 74 | **GUJAR KR, VAN WIJK A, KUMAR R, DE JONGH A** - Efficacy of virtual reality exposure therapy for the treatment of dental phobia in adults: A randomized controlled trial. *J Anxiety Disord.* 2019 ; 62 : 100-08.