

Apport de la réalité virtuelle pour la simulation des processus industriels

Mohamed-Amine ABIDI¹, Rosario TOSCANO², Patrick Baert, Cyril Bertheaux

Université de Lyon, LTDS CNRS UMR 5513, Équipe de réalité virtuelle et génie sensoriel, École National d'Ingénieurs de Saint-Etienne

RESUME

Dans un monde en évolution continue, les différents acteurs de l'industrie ont besoin d'être réactifs pour rester compétitifs et pour conquérir de nouveaux marchés. Pour y arriver, ils sont contraints d'améliorer leur façon de gérer les processus industriels au niveau stratégique pour s'adapter aux progrès de la technologie et suivre les évolutions du marché. Au niveau stratégique, ceci conduit les industriels à mettre à jour et adapter leurs moyens de gestion productique, afin d'améliorer la performance des processus industriels et réduire les délais de production pour faire face à l'arrivée de nouveaux produits et certainement de nouveaux concurrents. L'objectif de la réactivité en production est de pouvoir mettre à jour les processus industriels. Aujourd'hui, il existe quelque solution innovante sur le marché actuel qui traite les différentes étapes du PLM (Product Life Cycle Management), ces solutions se basent sur des techniques de CAO, la technologie 3D et encore la réalité virtuelle. Dans cet article, nous proposons une première approche qui a pour objectif de mettre en place un système de réalité virtuelle immersif et interactif. Elle permet d'interagir avec une simulation de flux industriel en réalité virtuelle (RV). La mise en œuvre de cette approche conduit à la création d'une couche d'abstraction entre les différents méthodes et techniques de la simulation de flux. Ces dernières nécessitent le plus souvent une expertise industrielle importante de la part des acteurs concernés par l'exploitation des données complexe issue de ce type de simulation.

Keywords: Réalité virtuelle, Interfaces sensori-moteurs, Design industriel, Simulation des processus industriels, Visualisation 3D, Interactions 3D.

1 INTRODUCTION ET MOTIVATION

Depuis les années 1990 l'accroissement de la diversité et de la complexité des produits a progressivement conduit les industriels à utiliser des progiciels informatiques dans les différentes étapes de la production, pour que les industriels puissent maîtriser leurs systèmes de gestion, aussi pour qu'ils puissent être capables de simuler les différents processus des systèmes de production. Avec le développement considérable de l'informatique, ces progiciels sont maintenant disponibles dans toutes les étapes du cycle de vie d'un système industriel. Les progrès de l'informatique ont permis l'émergence de technologies innovantes comme par exemple la réalité virtuelle (RV). La RV est une technologie qui combine des outils logiciels et d'autres matériels pour mettre en place une expérience immersive et interactive. Elle permet de simuler un scénario réel en mode virtuelle. Cette technologie est utilisée dans différents domaines tels que : la médecine, la simulation mécanique et la simulation des processus industriels etc... La simulation des processus industriels est un domaine vaste, car elle est applicable à tous les flux de l'industrie et même les services, à

tous les niveaux hiérarchiques et à toutes les phases du cycle de vie d'un système de production [1]. Souvent, les progiciels de simulation industrielle sont utilisés lors de la modélisation et la simulation des processus de production. La simulation de flux peut également être utilisée en stade d'exploitation, en complément d'outils de planification ou d'ordonnement pour estimer des délais par exemple. Elle permet aussi de déterminer les valeurs optimales d'une configuration logistique d'un système de production [2]. Dans la suite on s'intéressera essentiellement à la simulation de flux des systèmes de production de type manufacturier en nous appuyant sur un simulateur de flux à événement discrets dans lequel les variables d'état changent seulement lors d'évènement tels que : le début ou à la fin d'une opération, la libération d'un poste de travail, l'occurrence d'une panne, la mise en attente des pièces dans une file, etc. [3].

Le problème typique avec la représentation d'une simulation d'un système de fabrication est la compréhension des résultats issue de cette simulation, ces résultats ne sont généralement compréhensible que par des experts du domaine. Bien qu'il existe des outils permettant de représenter ces données complexes en visualisation 2D, la compréhension de ces dernières reste un exercice difficile. Des travaux de recherche menée par Dangelmaier [4] permettent la mise en place d'un système de réalité virtuelle pour la visualisation 3D de ces données complexes facilitant ainsi l'interprétation. La réalité virtuelle permet également de simuler la configuration d'installation des machines. Des études effectuées par Lindskog [5] ont pu montrer qu'un modèle de RV peut être utilisé comme support visuel lors de la modélisation ou la conception des systèmes de production. Une telle approche permet également de tester les différentes configurations d'installation avant la mise en œuvre effective de celle-ci. Aujourd'hui, les outils de RV et d'imagerie 3D, les simulations immersives en RV, sont de plus en plus utilisés dans les activités industrielles. Particulièrement dans les projets de conception ou pour la mise en place des modèles CAO « Conception Assistée par Ordinateur » dans la production industrielle [6, 7]. L'approche RV est également très présente pour la conception de systèmes dans les domaines de l'automobile et l'aérospatiale.

Dans cet article, nous proposons de traiter la question de l'apport de la RV pour la simulation des flux de production via une architecture qui permet de mettre en place une solution de simulation interactive et immersive.

2 CONTEXTE INDUSTRIEL

L'objectif de cette section est de présenter le contexte général dans lequel s'inscrit notre travail ainsi qu'une introduction aux terminologies et concepts majeurs abordées dans ce papier.

Pour rester compétitif sur des marchés de plus en plus instables, les industrielles ont besoin d'être réactif. Ils doivent souvent chercher des solutions innovantes pour améliorer leur production, aider à la décision, mettre à jour et adapter leurs moyens de gestion de production etc. Ceci nécessite d'avoir des outils logiciels permettent de contrôler et de simuler les flux d'un système de production. Il existe plusieurs outils capables d'aider à la conception et à la simulation des systèmes de production

¹mohamed-amine.abidi@enise.fr

²rosario.toscano@enise.fr

industriels. Nous nous intéressons plus particulièrement aux simulateurs de flux à événements discrets. Ces outils sont généralement utilisés que par des ingénieurs industriels spécialiser en gestion et simulation de processus industriels. Toutefois il apparaît que les autres acteurs industriels, comme par exemple les décideurs, sont le plus souvent démunis pour comprendre interpréter et exploiter les résultats d'une simulation (e.g. simulation de flux d'une ligne de production), en raison du haut degré d'abstraction sous lesquelles les données sont présentées.

Parmi les outils les plus utilisés dans ce domaine (d'après les statistiques de SEGULA – fin 2012), on cite « ARENA » [8]. Ce logiciel utilise une conception orientée objet pour mettre en place un modèle graphique du système de production. Le fonctionnement de Arena est simple, il suffit de placé des objets graphique appelé module dans la scène de Arena afin de définir les différents composants du processus industriel tels que les machines, les opérateurs, les appareils de manutention etc. Arena se base sur le langage de simulation SIMAN pour compiler et exécuter les modèles.

En deuxième position, on trouve « WITNESS » [9]. Il permet de simuler différents type processus industriel, principalement les lignes de production, depuis le processus de conception initiale vers une usine entièrement fonctionnelle. La solution Witness se compose de plusieurs modules tel que : MATFLOW (un système de planification des flux) et Witness Optimizer.

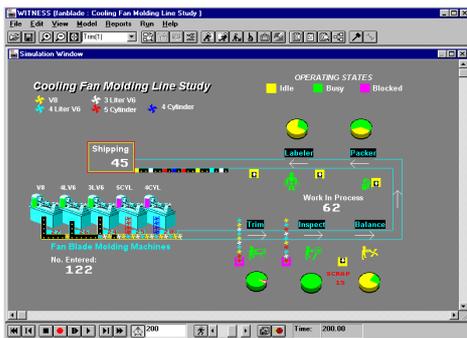


Figure 1. Exemple de simulation avec WITNESS.

On peut également citer QUEST [10], qui est toujours associé avec Delmia de Dassault Systèmes. La combinaison d'outils Delmia/QUEST est présente dans l'aéronautique, l'industrie automobile ainsi que dans le domaine universitaire. QUEST offre un environnement collaboratif unique pour les ingénieurs industriels et surtout les ingénieurs de méthode, QUEST fournit des techniques et méthodes en gestion de flux de production tout au long du cycle de vie d'un produit. Cet outil permet de visualiser en 2D ou en 3D la simulation d'une usine en mode virtuelle.

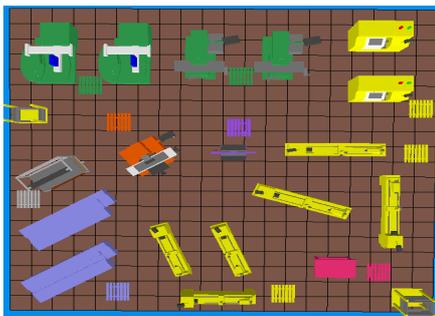


Figure 2. Simulation d'une ligne de production avec QUEST.

Ces outils existent aujourd'hui dans les différentes étapes d'un PLM, ils sont utilisés dans les phases de la modélisation, l'optimisation et la simulation des différents processus industriel. Les utilisateurs de ces progiciels ont un rôle particulièrement déterminant dans ce domaine : ces experts peuvent prévoir l'évolution des charges d'un système de production tout au long de son fonctionnement, ce qui permet de mettre en évidence les points de blocage du système de production [11]. L'ensemble de ces produits tend à améliorer les rendus 3D à chaque nouvelle version, ce qui confirme la demande du marché à pouvoir vulgariser les résultats des simulations vers un public plus large. Notre objectif principal est de concevoir un système de réalité virtuelle qui interagit avec un simulateur de flux de production, tout en affinant progressivement la performance du modèle de simulation grâce à l'échange dynamique des données en utilisant les techniques de l'informatique ainsi que les pratiques et méthodes de la RV.

L'enjeu est d'appliquer le concept de dimension P³ « Interaction -Immersion-Imagination » [12] pour faire une abstraction entre les techniques spécifique de la simulation et les acteurs non spécialiste de l'industrie en intégrant les méthodes innovantes de la réalité virtuelle. Ces techniques de RV permettent d'immerger l'utilisateur dans une scène industrielle virtuelle qui présente les résultats de simulation des différents processus de fabrication.

3 ETAT DE L'ART

3.1 La technologie de la RV

La réalité virtuelle comme définie par Arnaldi [13], est : « *un domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs* ». L'immersion et l'interaction présentent les phénomènes les plus importants pour les applications de RV, pour cela il faut mettre en place des techniques permettent d'immerger l'utilisateur dans un monde virtuel via des interfaces sensori-moteurs dont le but est de traiter des processus virtuels.

L'utilisateur reçoit un ensemble d'informations à travers ces interfaces sensori-motrices comme : retour immersif 3D sur un grand écran, retour d'effort à travers un bras haptique qui traduit la collision avec des objets virtuel, etc. L'interaction avec la scène virtuelle nécessite une interface de contrôle sensori-moteur comme (les bras haptiques pour la saisie des objets virtuel, le système de capture de mouvement qui permet de contrôler un avatar virtuel, les gants de données etc.). La technologie de RV est utilisée dans plusieurs domaines tels que les jeux vidéo, la santé, la biologie, les opérations militaires, l'éducation, l'apprentissage et la formation etc. Aujourd'hui on trouve plusieurs types d'applications de réalité virtuelle telles que les applications de télé-présence pour les conférences virtuelle [14], la télé-opération [15] et des applications industriels (e.g. validation ergonomique des postes de travail [16]), des applications de visualisation immersive des résultats spécifiques destinés pour l'analyse des données complexe et l'aide à la décision [17].

3.2 Simulation des processus de production

Les modèles de simulation peuvent être programmés en utilisant des langages spécialisés ou avec l'aide de progiciels spécifiques de simulation. Les modèles de simulation sont

aujourd'hui développer avec ces langages qui offrent une mise en œuvre rapide. Parmi les langages qu'on trouve le plus dans la littérature on cite SIMAN [18], ce langage permet de développer des modèles de simulation d'une façon rapide et performante, ce langage ne peut être utilisé que par des développeurs bien formés, et les modèles ainsi produits sont difficile à comprendre pour les acteurs non formés. Aujourd'hui, il existe des simulateurs spécialisés ayant intégré des composants de modélisation, ces composants permettent de développer facilement des modèles de simulation via une interface graphique. La plupart de ces outils de simulation offre un module de génération de modèle 3D à partir du modèle de simulation (e.g. Taylor ED de Flexsim [19] et Quest de Delmia [10]). Ces outils permettent aussi d'évaluer les résultats d'une simulation via différents types de présentation de données complexe tels que les tableaux ou les graphiques [20]. Un modèle de simulation est une représentation simpliste d'un processus réel, si le modèle de simulation présente une base pour les expériences alors le modèle doit être réaliste, pour cela plusieurs méthodes existe [21]. En cas de validation d'une solution technique, un modèle de simulation peut être développé, permettant d'évaluer ses performances. Si le modèle ne donne pas satisfaction, on peut changer les paramètres afin d'obtenir un système conforme aux exigences.

3.3 Réalité virtuelle pour la conception industrielle

La conception assistée par la réalité virtuelle est une terminologie de l'industrie moderne. Ce concept a été introduit par P.Fuchs en 2003 [22]. Aujourd'hui il existe plusieurs projets de recherche dont l'objectif est de trouver des solutions pour satisfaire les besoins de la conception virtuelle. On peut par exemple citer VR4D : Virtual Reality for Design de CLARTE [23] qui est une solution d'aide à la création en réalité virtuelle pour le design. Le projet VR4D présente un outil virtuel permettant l'aménagement d'espaces restreints parce que les lieux de vie intégrés à des bâtiments terrestres ou aériens représentent un enjeu industriel important.

Plusieurs organismes industriels aujourd'hui favorisent l'utilisation des systèmes de réalité virtuelle dans les différentes étapes de la conception et de la validation des modèles. Il existe d'autres projets qui traitent la conception virtuelle comme VirtualiTeach [24] : ce projet intègre d'une part une plateforme matérielle complète basée sur les technologies de la réalité virtuelle et augmentée et d'autre part d'un ensemble d'applications logicielles mettant en œuvre des contenus pédagogiques inhérents aux enseignements concernés. L'un des objectifs de ce projet est d'assurer le suivi de la conception de pièces mécaniques et leur montage sur une automobile. Cela est fait en situation immersive dans des environnements d'apprentissage permettant la visualisation l'interaction avec ce qui est d'habitude invisible comme par exemple la répartition de la chaleur dans une pièce grâce à un procédé de coloration. Il y a d'autres chercheurs qui utilisent la technologie de réalité augmenté pour traiter des problématiques de conception et simulation virtuelle. Lee [25] propose une méthode de conception des environnements de production numérique basée sur la technologie de réalité mixte. Cette méthode permet d'intégrer des composants virtuelle avec d'autres réelles dans un système de production virtuelle avec pour objectif de mettre en place une meilleure configuration d'un système de production. D'autres travaux de recherche ciblent les projets collaboratifs pour l'aide à la conception dans un environnement PLM (Product Life-cycle Management). Cette approche intègre des connaissances basées sur l'ingénierie de processus industriel, elle utilise des systèmes multi-agent dans des plates-formes de réalité virtuelle. Les

chercheurs du LSTB (laboratoire des systèmes et transports de Belfort) travaillent sur développement de cette approche. Ils proposent une architecture de systèmes collaboratifs [26] qui permet l'aide à la conception des processus industriel, ainsi que l'analyser et la simulation de ces processus dans un environnement virtuelle on utilisant des techniques et outils de la réalité virtuelle. Lindskog [5] a utilisé la technologie de la réalité mixte (virtuelle et augmentée) ainsi que des techniques d'imagerie 3D pour étudier la conception des systèmes industriels (e.g. les lignes de production et les postes de travail) avant leurs mise en œuvre réelles. Cela permet ainsi d'évaluer la mise en place d'une nouvelle machine et sa configuration avant de l'installer réellement.

Il existe d'autres types de système qui permettent l'aide à la conception des prototypes. Choi [35] présente dans son article un système de prototypage virtuel PV pour la fabrication numérique des prototypes multi-matériaux pour faciliter le développement rapide des produits. Ce système se base sur un environnement immersif « CAVE » dont l'objectif est de permettre à une équipe de concepteurs d'analyser la qualité de conception du produit, de se concentrer et de collaborer sur leur travail de conception. Grâce à un module de simulation, ce système permet d'évaluer et de modifier les modèles de produit sans aucune perte de matériaux de prototypages. Ce type de système améliore la collaboration et la communication d'une équipe de concepteurs qui travaillent sur le développement d'un produit.

3.4 Réalité virtuelle et mixte pour la production numérique

Pour bien gérer les différents processus de la production industrielle, les acteurs de l'industrie utilisent aujourd'hui une nouvelle génération de technologies et d'outils innovants. Plusieurs travaux de recherche en réalité virtuelle et mixte traitent les problématiques liées à la production industrielle en générale, ainsi qu'à la visualisation, la manipulation, la présentation et l'exploitation des modèles de production. On peut citer parmi les travaux dans ce domaine, un projet qui se base sur la technologie de la réalité mixte qui a été lancé par le géant de l'électronique Canon [27]. Ce travail présente un système pour l'aide à la conception et le développement des nouveaux produits industriels, il permet aux concepteurs de visualiser et d'interagir en collaboration avec des objets virtuels en trois dimensions placés dans un environnement réel. L'objectif principal de ce système est de réduire le nombre de prototypes nécessaires au développement d'un nouveau produit destiné à la production de série tout en compressant les couts et en minimisant l'impact environnemental.



Figure 3. Canon MR System.

D'autres travaux traitent les problématiques de la planification des processus et des lignes de production. Les chercheurs de Boeing ont utilisé la technologie de réalité mixte pour la mise en place d'une solution d'aide à la conception des cockpits [28]. D'une manière générale, ces travaux de recherche permettent d'optimiser les méthodes de production industrielle. Cela peut être fait en permettant par exemple aux opérateurs de comprendre facilement les procédures d'assemblage en affichant des informations sur les pièces avec des images qui indiquent l'ordre d'assemblage dans une ligne de fabrication.

3.5 Réalité virtuelle et augmentée pour la simulation des processus industriels

L'utilisation des outils, existant aujourd'hui pour la simulation des différents processus industriels, nécessitent des connaissances et une bonne expertise du domaine concerné. Beaucoup d'acteurs industriels ne possèdent pas cette expertise purement technique. Donc pour leur permettre de participer aux analyses, validation et optimisations des modèles de simulation des différents processus, plusieurs travaux de recherche visent à mettre en place des solutions innovantes qui permettent d'avoir une abstraction entre les méthodes et techniques de simulation et les acteurs non techniques. Dangelmaier [4] propose un système de RV qui permet de visualiser en 3D la simulation d'une ligne de fabrication en temps réel comme le montre la Figure 4. Les objectifs de ce système sont d'assister les utilisateurs dans la phase de conception des modèles de production, de valider ces modèles et d'aider à optimiser un système de production.

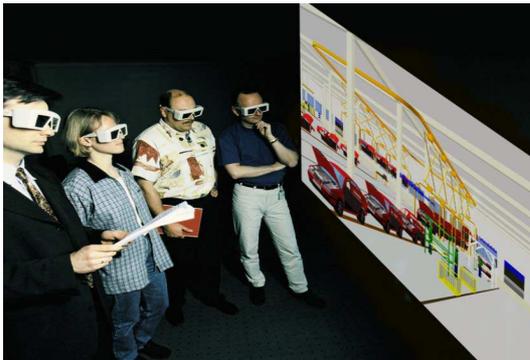


Figure 4. Visualisation d'une simulation d'un système de fabrication.

Il existe d'autres travaux qui traitent des problématiques spécifiques comme la simulation de la production dans l'aéronautique. Caggiano [29] propose une solution innovante de simulation numérique. Il présente des outils logiciels utilisés pour l'aide à la conception et la simulation d'une cellule existante de fabrication de composants de moteurs d'avions pour être améliorée par ébavurage robotique automatisé. Pour cela les chercheurs ont mis en place une application de simulation des mouvements en 3D pour illustrer la conception des systèmes de manutention des matériaux. Ce système utilise une simulation à événement discret pour analyser les différents scénarios et améliorer la performance de la cellule de fabrication.

De multiples approches et méthodes spécifiques d'ingénierie de conception et de simulation des processus de production sont possibles aujourd'hui grâce à divers outils technologiques. Tolio [30] cherche à mettre en place un nouveau concept qui offre la possibilité d'intégrer les différents outils de conception, de

simulation et d'analyse dans une solution unique. Ce concept permet de soutenir l'interopérabilité entre ces outils tout au long du cycle de vie de la production. Les chercheurs dans le domaine de l'architecture s'intéressent généralement aux solutions de simulation et d'apprentissage des modes de construction. Goulding [31] propose une solution de RV pour la simulation et l'apprentissage des principales méthodes et techniques de construction des bâtiments. L'objectif principal de cette solution est de fournir un environnement de travail permettant aux différents acteurs industriels (e.g. les chefs de projets, directeurs de travaux, les architectes, les concepteurs, les fournisseurs et les fabricants) d'avoir un apprentissage multidisciplinaire via une simulation en RV d'un chantier de construction.

Lee [25] travaille sur un système de simulation basé sur la réalité mixte pour simuler des opérations industrielles dans une usine virtuelle, ce système permet aux industriels de lancer des opérations virtuelles dans le but d'analyser la faisabilité d'une solution dans un contexte réel et de voir leur évolution au cours du temps. Leu [33] présente dans son article un état de l'art qui décrit les différentes méthodes utilisées pour le développement des modèles de CAO et des systèmes de simulation pour l'assemblage des prototypes, la planification et la formation. L'auteur a également présenté des méthodes pour la génération de modèles CAO à partir des données numériques acquises. Cela concerne la capture de mouvement, la modélisation d'assemblage, ainsi que les interfaces homme machine. Leu a introduit une méthode pour l'échange de données entre un système de CAO et un système de RV. Cette article décrit la mise en œuvre de ces méthodes et fournit des exemples d'application de simulation basée sur un modèle virtuel pour l'assemblage des prototypes, la planification et la formation. Des travaux récents traitent de la simulation et du contrôle des différentes étapes du PLM. Fillatreau [32] propose une solution de réalité virtuelle qui permet aux industriels de naviguer dans une scène 3D, et de manipuler des composants virtuels, dans le but de simuler et valider les différentes opérations d'une étape du PLM. L'objectif principal de ce système est de permettre aux entreprises d'améliorer la traçabilité des revues de projet, des décisions et de la documentation dans toutes les étapes de la PLM.

Mujber [34] propose dans son article une classification des applications industrielles en RV, suivant trois groupes : la conception (modélisation et prototypage), la gestion des opérations (planification, simulation et formation) et les processus de fabrication (usinage, assemblage et contrôle). Cela démontre un large éventail de la demande du RV dans l'industrie. Aujourd'hui la RV est loin d'atteindre toutes les étapes du PLM (e.g. la validation des exigences de produit, la validation des modèles de simulation, la simulation de flux et l'acceptation de produits : ne sont pas vraiment abordés par les applications de RV). Les études existant dans la littérature qui traitent l'intégration de la RV dans les différentes étapes du PLM se concentrent toujours sur une étape particulière.

Aujourd'hui, sur le marché actuel on trouve des outils de simulation et de planification des plates-formes industrielles qui sont déjà commercialisés et utilisent la technologie 3D. Ces systèmes sont souvent utilisés pour la simulation de fabrication et la mise en place des plans d'usine dans une plate-forme industrielle. On présente dans la Figure 5 trois produits commerciaux, Tecnomatix Factory FLS [36] par Siemens, Teamcenter Manufacturing Plant Simulation [37] par UGS et MPDS4 Factory Layout [38] par CAD Shroer. Ces produits ont une bonne part du marché de l'industrie. Tous les systèmes de RV cités dans cet état de l'art sont assez similaires car ils fournissent une plate-forme visuelle avec un rendu 3D. Ces outils sont conçus

pour satisfaire les besoins industriels suivants : la conception des prototypes, la conception des processus de maintenance et d'usinage, la simulation des plans d'aménagement, la simulation des processus de fabrication, l'évaluation de la mise en place des composants industriels sur une plate-forme virtuelle, la simulation des opérations d'assemblage et d'usinage etc... Ces systèmes de RV sont utilisés pour visualiser et affiner les résultats théoriques avant de mettre en place les processus réels.

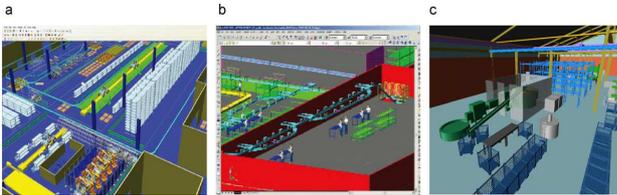


Figure 5. Outils de simulation des processus de fabrication.
 (a) Tecnomatix factory layout simulation [36].
 (b) Teamcenter manufacturing plant simulation [37].
 (c) MPDS4 factory layout [38].

Des chercheurs commencent à mettre en œuvre les résultats de leurs travaux de recherche dans la conception et l'évaluation des systèmes de fabrication à travers des applications de réalité augmentée. Gausemier [39] a mis en place un système de RA qui permet aux concepteurs de définir et d'évaluer leurs modèles de systèmes de fabrication en utilisant une webcam et des marqueurs dans un environnement réel, comme le montre la Figure 6. D'autres systèmes similaires sont présentés dans Doil [40]. Ces systèmes de RA suivent le même concept des systèmes de VR.

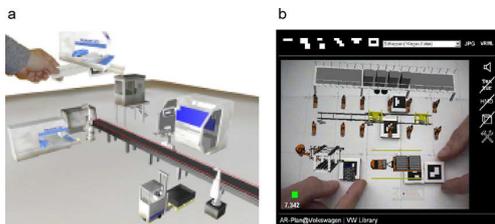


Figure 6. Conception des systèmes de fabrication en RA.
 (a) Outil de planification en RA [39].
 (b) Outil de conception et maintenance industrielle ARVIKA [40].

4 NOTRE PROPOSITION DE SYSTEME

Dans ce contexte, notre contribution se base sur l'exploitation de différentes technologies, outils et méthodes existante dans le monde industriel (e.g. la technologie de la RV, les méthodes et techniques de simulation, l'évaluation et la planification des processus industriels) pour développer un système de RV qui permet de simuler les flux de production, d'évaluer les processus de fabrication, de valider les opérations d'assemblage et d'interagir en temps réel avec une simulation de flux en cours d'exécution. Ce système sera implémenté sur notre plate-forme de réalité virtuelle, où l'utilisateur sera totalement immergé dans une scène virtuelle en 3D. Ce système permet à l'utilisateur de se déplacer dans la scène virtuelle et de changer le point de vue de la caméra virtuelle à travers la capture de mouvement. Pour manipuler et interagir avec les objets de la scène virtuelle on utilise le Flystick de ART. Notre système sera connecté avec un simulateur de flux, ce qui permettra à l'utilisateur de visualiser une simulation des flux de production en cours d'exécution et

d'interagir avec cette dernière en changeant sa configuration et ses paramètres sur la plate-forme de réalité virtuelle. Ce système démocratise l'utilisation des outils de simulation en rendant accessible aux acteurs non-technique de l'industrie les techniques et méthodes de la simulation des systèmes de production. Une telle approche doit permettre aux industriels d'avoir une vision globale de leurs systèmes de productions afin d'en évaluer les points faibles pour ainsi être en mesure d'apporter des actions correctives.

4.1 Architecture proposée

L'environnement de réalité virtuelle est un mélange de systèmes sensori-moteurs, de technologie 3D et de développements de programmes informatiques. Le développement d'un système innovant qui se base sur la réalité virtuelle nécessite la conception d'une architecture qui décrit les différentes parties du système, l'intégration globale des modules et des périphériques de la plate-forme de réalité virtuelle et d'assurer l'interopérabilité dans le système.

Nous présentons dans la Figure 7 un schéma architectural qui résume la structure générale du système à réaliser. Cette architecture permet de décomposer le système en quatre grandes parties : le simulateur de flux productique, le protocole d'échange de données, les modules 3D et la plate-forme de RV.

- ❖ *Simulateur de flux productique* : Les ingénieurs industriels utilisent des outils spécifiques pour concevoir et simuler les processus de production. Dans notre approche, l'outil Arena sera intégré dans le système de réalité virtuelle proposé, dans le but d'avoir des simulations immersives et interactives. L'intégration de cet outil nécessite le développement d'une couche de communication entre Arena et notre système de RV.
- ❖ *Protocole d'échange de données* : Pour une bonne exploitation des résultats d'une simulation de flux par le système de RV, il est nécessaire de développer un protocole de communication permettant d'assurer l'échange de données en temps réel entre l'outil Arena et le système de RV.
- ❖ *Modules 3D* : La mise en œuvre d'une simulation immersive et interactive dans un environnement de RV, nécessite le développement de modules de traitement d'objets virtuels (Déplacement avatar, Suivre de l'axe de vue de caméra, Manipulation des objets 3D via Flystick, Menu-virtuel, Animer objets-3D et Interaction-scénario). Ces modules s'exécutent autour d'un moteur 3D (e.g. Unity3D, Virtools).
- ❖ *Contrôleurs VRPN* : c'est la partie logicielle de la plate-forme de RV. Cette partie intègre les différents contrôleurs qui permettent la connexion entre les périphériques de RV et le moteur 3D. Le développement de ces contrôleurs se base sur le framework VRPN (Virtual Reality Peripheral Network : ce framework permet de connecter les périphériques de RV sur un cluster). Par exemple le « Contrôleur-Mouvement » présente un connecteur entre le « ART Motion Capture » et le Moteur 3D, ce connecteur permet de transmettre et de représenter les données de capture de mouvement dans le moteur 3D via le réseau.
- ❖ *Périphériques RV* : Ce bloc intègre la partie sensori-motrice de la plate-forme de RV. Ainsi que le montre la figure 7, ce module comprend les différents périphériques et leur connexions.

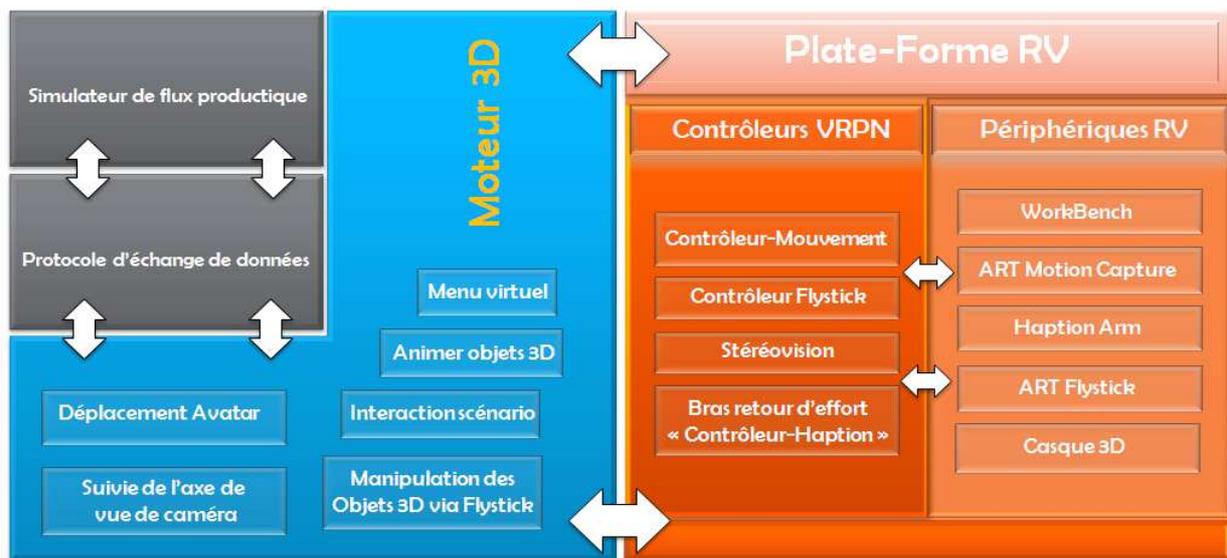


Figure 7. Architecture de notre système de RV pour la simulation des processus productique.

4.2 Fonctionnement du système

L'architecture présentée à la Figure 7 fournit un aperçu global du système qu'on nous souhaitons développer. Cette architecture présente également les différentes connexions possibles entre les divers modules du système. Ce système permettra d'immerger l'utilisateur dans une simulation virtuelle en 3D et d'interagir avec cette dernière via les périphériques de la plate-forme RV. L'application permet à l'utilisateur de se déplacer dans un environnement virtuel en utilisant un système de capture de mouvement (capteurs et caméras IR de la marque ART). Pour la saisie et la manipulation des objets industriels dans un environnement virtuel, on peut utiliser un flystick (ART) ou un Wiimote. La fonctionnalité principale de notre système est de lancer une simulation de flux productique dans une scène de réalité virtuelle. Pour cela, nous avons développé des modules de traitement 3D qui permettent de représenter les résultats issus de l'outil de simulation (Arena) dans un environnement 3D en passant par un module de transmission et de synchronisation de données. Ce système permet de plus d'interagir avec l'environnement 3D pour modifier et re-paramétrer la simulation gérée par le moteur de l'outil « Arena ». L'interaction avec la scène 3D pourra être réalisée à l'aide d'un bras haptique à retour d'effort « Haption ». L'utilisation de ce type d'interface apporte en effet une bonne fluidité d'interaction avec les objets virtuels et ajoute de la sensation à l'expérience de simulation virtuelle.

4.3 Environnement de développement

Le développement de cette approche nécessite l'utilisation des outils matériels et logiciels spécifiques à la réalité virtuelle. Nous présentons dans cette partie les outils principaux qui seront utilisés tout au long de ce projet.

4.3.1 Outils matériels de la plate-forme RV

La plate-forme de RV de notre laboratoire comprend les éléments suivants :

- WorkBench : c'est un périphérique de réalité virtuelle qui permet une visualisation en relief sur un dispositif double

écran comme le montre la Figure 8. Cet équipement permet d'immerger l'utilisateur dans une expérience de réalité virtuelle de très bon niveau. Ce périphérique facilite le travail sur les prototypes virtuels pour les fonctions de formation, de test d'assemblage de pièces technique ou encore d'aide à la maintenance. Le WorkBench est constitué de deux écrans perpendiculaires, dont l'un, horizontal, est situé environ à 1 m du sol.

- ARTrack « système de capture de mouvement » : conçu par l'entreprise « ART ». Ce système se compose de quatre caméras infrarouges, une tenue « mocap » équipée d'un ensemble de marqueurs passifs retro-réfléctive (cf. figure 8) et un ordinateur contrôleur. Ce concept permet de récupérer la position et l'orientation 3D de tous les marqueurs dans la scène de la plate-forme. Pour le contrôle des objets virtuels, le système nous offre un flystick équipé de : boutons, deux axes analogues pour le contrôle d'orientation et un marqueur actif pour sa localisation dans l'environnement réel.
- Virtuose 6D « Haptic arm » : ce système est conçu par l'entreprise « Haption », il se compose d'un ordinateur contrôleur et un bras à retour d'effort. Ce périphérique est un sensori-moteur bidirectionnel, il permet à l'utilisateur d'exercer une force sur le bras et aussi d'avoir un retour d'effort suite à une action.

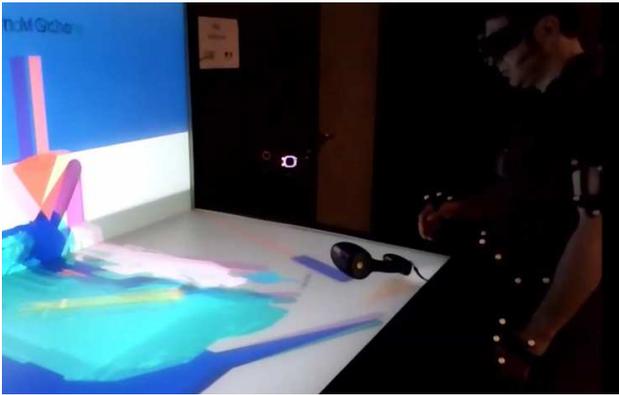


Figure 8. WorkBench de la Plate-forme de RV à l'ENISE.

4.3.2 Outils logiciels de la plate-forme RV

Pour le développement de notre système, les progiciels suivant seront utilisés : Arena®, Unity3D® et Microsoft Visual C++, ainsi que des bibliothèques spécifiques à la réalité virtuelle comme VRPN pour le développement des différents modules de ce système.

- Arena® : progiciels de conception et simulation des processus de production industriel, cet outil se base sur le moteur SIMAN pour simuler des processus à événements discrets.
- Unity3D® : c'est un moteur 3D, on peut l'appeler aussi : un progiciel de développement des environnements 3D. Cet outil va nous permettre de développer les scènes industrielles en 3D, les modules d'interaction avec les objets de la scène et le rendu des scénarios de simulation.
- Microsoft Visual C++ : progiciel de développement des projets informatique en langage C++. Il sera utiliser pour développer les interfaces entre les périphériques de RV et le moteur 3D. Ces interfaces vont nous permettre de générer une couche de .dll « Dynamic Link Library » qui permet d'établir une connexion entre Unity3D et la plate-forme de RV.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Aujourd'hui, la réalité virtuelle est utilisée dans plusieurs contextes industriels tels que la formation, l'aide à la décision, l'aide à la maintenance, la simulation des opérations industriels, etc... Ce travail présente une nouvelle approche de simulation immersive et interactive dans le monde industriel. Cette approche permet aux industriels de visualiser le fonctionnement de leurs usines en 3D et même d'interagir avec le système présenté sur la plate-forme de RV via des périphériques spécifiques. Le but principale de ce travail est de permettre aux différents acteurs industriels de participer à l'analyse et l'amélioration des processus industriels.

Pour nos travaux futurs, nous visons à développer un système de réalité virtuelle pour la simulation en ligne. Ce système permettra de connecter une plate-forme de RV avec un système d'information industriel (e.g. comme l'ERP) et un système centrale de contrôle/commande des machines. L'objectifs de ce système est de présenter en temps réel le fonctionnement actuel de l'usine, d'analyser et de simuler ce fonctionnement au cours du temps et de prendre le contrôle sur les machines des différentes lignes de production pour reconfigurer et améliorer les processus de production.

REFERENCES

- [1] Claire Berchet, Modélisation pour la simulation d'un système d'aide au pilotage industriel, Thèse, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2000.
- [2] Franck Fontanili, Intégration d'outils de simulation et d'optimisation pour le pilotage d'une ligne d'assemblage multi-produit à transfert asynchrone, Thèse de doctorat, Université Paris XIII, 1999.
- [3] G. Bel, J. P. Kieffer, Pilotage assisté par la simulation discrète, Hermès Science Europe Ltd (Ed.) : Méthodes du pilotage des systèmes de production, pp. 99-127, 2002.
- [4] Dangelmaier, W.; Fischer, M.; Gausemeier, J.; Grafe, M.; Matyszcok, C. & Mueck, B., Virtual and augmented reality support for discrete manufacturing system simulation, Computers in Industry, pp. 371-383, 2005.
- [5] Lindskog, E.; Berglund, J.; Vallhagen, J. & Johansson, B.: Visualization Support for Virtual Redesign of Manufacturing Systems. In: Procedia 7, pp. 419-424, 2013.
- [6] Sreng, J.; Lécuyer, A.; Mégard, C. & Andriot, C.: Using visual cues of contact to improve interactive manipulation of virtual objects in industrial assembly/maintenance simulations. In: Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on 12, pp. 1013-1020, 2006.
- [7] Jayaram, S.; Jayaram, U.; Kim, Y.; DeChenne, C.; Lyons, K.; Palmer, C. & Mitsui, T.: Industry case studies in the use of immersive virtual assembly. In: Virtual Reality 11, pp. 217-228, 2007.
- [8] Takus, David A and Profozich, David M., ARENA software tutorial, Winter Simulation Conference, 1997.
- [9] Markt, P. L. & Mayer, M. H., WITNESS simulation software: a flexible suite of simulation tools, pp. 711-717, 1997.
- [10] Bzymek, Z. M.; Nunez, M.; Li, M. & Powers, S., Simulation of a machining sequence using Delmia/Quest software, Computer-Aided Design and Applications, pp. 401-411, 2008.
- [11] René J. Chevance. Méthodologie en matière de performance des systèmes. Techniques de l'ingénieur, l'expertise technique et scientifique de référence.
- [12] Burdea, G. et Coiffet P., La Réalité Virtuelle. Hermès Sciences Publications, Paris, 1993.
- [13] B. Arnaldi, P. Fuchs, and J. Tisseau. Chapitre 1 du volume 1 du traité de la réalité virtuelle. Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2003.
- [14] T. Kantonen, C. Woodward, N. Katz, Mixed reality in virtual world teleconferencing, in: Proceedings of the IEEE Conference on Virtual Reality, pp. 179-182, 2010.
- [15] A. Tarault, P. Bourdot, J. Ve' zien, Sacari, An immersive remote driving interface for autonomous vehicles, Computational Science – ICCS, pp. 3-15, 2005.
- [16] Ergo-wide : Analyse ergonomique en réalité virtuelle, SIMCORE et CLARTE, 2011. Site-web : < <http://www.simcore.fr/Ergonomie.asp> >, (Août 2013).
- [17] J. Eddy, K. Lewis, Visualization of multidimensional design and optimization data using cloud visualization, ASME Conference Proceedings, pp. 899-908, 2002.
- [18] C.D. Pegden, R.E. Shannon, R.P. Sadowski, Introduction to Simulation Using SIMAN, McGraw-Hill, New York, NY, 1995.
- [19] W.B. Nordgren, Taylor enterprise dynamics, in: Proceedings of the Winter Simulation Conference, Society for Simulation (SCS), San Diego, CA, pp. 269-271, 2001.
- [20] Klingstam, P. Gullander, Overview of simulation tools for computer aided production engineering, Computers in Industry, pp. 173-186, 1999.
- [21] W. Dangelmaier, Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1998.
- [22] Richir, S. & Fuchs, P.: Réalité virtuelle et conception Méthodes. In: Techniques de l'ingénieur Méthodes et outils pour la conception, 2003.

- [23] VR4D: Virtual Reality for Design, CLARTE & Ecole des Mines de Nantes & Ecole de design Nantes Atlantique, 2008. Site-web: < <http://www.lecolededesign.com/fr/actualites/bdd/actualite/1247> >, (Août 2013).
- [24] VirtualiTeach: Assistance de Conception, CLEMI, CLARTE & CEA-List < <http://www.ac-creteil.fr/retrouvezlactualite-avril2013-pedagogieconcrete.html> >, (Août 2013).
- [25] Lee, J.; Han, S. & Yang, J.: Construction of a computer-simulated mixed reality environment for virtual factory layout planning. In: Computers in Industry, pp. 86-98, 2011.
- [26] Mahdjoub, M.; Monticolo, D.; Gomes, S. & Sagot, J.-C.: A Collaborative Design for Usability approach supported by Virtual Reality and a Multi-Agent System embedded in a PLM environment. In: Computer-Aided Design, pp. 402-413, 2010.
- [27] MR System: un système d'aide à la conception de produit, CANON, 2012. Site-web: < <http://www.actinnovation.com/innovation-technologie/canon-mr-system-realite-augmentee-4831.html> >, (Août 2013).
- [28] T. Caudell, D. Mizell, Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes, in: Proceedings of the Hawaii International Conference on Systems Science, HI, USA, pp. 659-669, 1992.
- [29] Caggiano, A.; Teti, R.: Digital Manufacturing Cell Design for Performance Increase. In: Procedia 2, pp. 64-69, 2012.
- [30] Tollo, T.; Sacco, M.; Terkaj, W. & Urgo, M.: Virtual Factory: An Integrated Framework for Manufacturing Systems Design and Analysis. In: Procedia 7, pp. 25-30, 2013.
- [31] Goulding, J.; Nadim, W.; Petridis, P. & Alshawi, M.: Construction industry offsite production: A virtual reality interactive training environment prototype. In: Advanced Engineering Informatics 26, pp. 103-116, 2012.
- [32] Fillatreau, P.; Fourquet, J.-Y.; Bolloc'h, R. L.; Cailhol, S.; Datas, A. & Puel, B.: Using virtual reality and 3D industrial numerical models for immersive interactive checklists. In: Computers in Industry, 2013.
- [33] Leu, M. C.; ElMaraghy, H. A.; Nee, A. Y.; Ong, S. K.; Lanzetta, M.; Putz, M.; Zhu, W. & Bernard, A.: model based virtual assembly simulation, planning and training. In: Manufacturing Technology, 2013.
- [34] T. Mujber, T. Szecsi, M. H.: Virtual reality applications in manufacturing process simulation. In: Journal of Materials Processing Technology, pp. 1834-1838, 2004
- [35] Choi, S. & Cheung, H.: A versatile virtual prototyping system for rapid product development. In: Computers in Industry, pp. 477-488, 2008.
- [36] Tecnomatix Factory Layout Simulation < http://www.plm.automation.siemens.com/zh_cn/Images/7656_tcm78-64291.pdf >, (Août 2013).
- [37] Teamcenter Manufacturing Plant Simulation < http://www.robertirobotics.com/ugs/efactory/emplant/_files/fs_tecnomatix_em_plant.pdf >, (Août 2013).
- [38] Cad Shroer MPDS4 Factory Layout. < <http://www.cadschroer.com/index.php?screen=1&ziel=Products-MPDS&thema=mask1.php&id=351&land=com> >, (Août 2013).
- [39] Gausemier J, Frund J, M. C.: AR-Planning Tool Design Flexible Manufacturing Systems with Augmented Reality. In: Proceedings of 8th Euro graphics Workshop on Virtual Environment, pp. 19-25, 2002.
- [40] Doil F, Schreiber W, A. T. P. C.: Augmented Reality for Manufacturing Planning. In: Proceeding of the Workshop on Virtual Environment, pp. 71-76, 2003.