

LA RÉVOLUTION DU NUMÉRIQUE : UN ATOUT POUR CONCEVOIR DES POSTES DE TRAVAIL PLUS SÛRS

Face à l'essor croissant des technologies numériques, cet article vise à illustrer les possibilités de mise en pratique de la notion de prévention intégrée dans les outils de conception.

Ainsi, après une première partie consacrée à la description de l'évolution des outils de conception et des outils de prévention, il est abordé, dans un deuxième temps, la question de l'intégration de la prévention dans l'environnement de conception, au travers de deux exemples représentatifs des outils utilisés respectivement dans les bureaux d'études et dans les bureaux des méthodes. Enfin, une troisième partie ouvre la discussion sur les perspectives d'évolution du tandem « prévention-conception » dans les années à venir.

De progrès matériels en mutations informatiques, l'activité des concepteurs a fortement évolué ces 20 dernières années. En effet, afin de faire face au raccourcissement du cycle de vie des produits, à l'évolution rapide des marchés et de la concurrence, à l'accroissement des exigences des clients qui attendent des produits de plus en plus personnalisés, les entreprises ont profondément modifié leurs processus de conception. On est ainsi progressivement passé de l'ingénierie séquentielle à l'ingénierie concourante (ou simultanée). Cette mutation méthodologique des processus de conception initiée au début des années 80, a entraîné une forte évolution des outils de conception, évolution favorisée par le formidable essor des techniques informatiques sur la même période.

Parallèlement à ces transformations technologiques visant à concevoir mieux et plus vite, est apparue en France, à la même époque, l'obligation d'appliquer

des principes de sécurité lors de la conception d'un équipement de travail et à réaliser ainsi une estimation *a priori* des risques (loi du 6 décembre 1976 et ses décrets d'application du 15 juillet 1980). Cette évolution de la prévention, appelée prévention intégrée, s'est accompagnée au fil des années du développement d'outils de prévention, les plus connus étant les normes. Les progrès des techniques informatiques ont également permis la création d'outils de prévention tels que des logiciels spécifiques permettant une analyse plus aisée de certains risques, ou encore, l'accès facile, via le réseau Internet, à d'autres outils de prévention de type documentaire.

Mais qu'en est-il aujourd'hui de l'évolution des outils de conception sur la mise en pratique de la notion de prévention intégrée ? Ou de l'intégration des outils de prévention dans les outils de conception ? Quelles sont les perspectives d'évolution, en termes d'outils, du tandem « prévention-conception » ?

- Technologie avancée
- Conception
- Poste de travail

► Laurent CLAUDON,
Bruno DAILLE-LEFÈVRE, Jacques MARSOT
INRS, département Ingénierie des équipements
de travail

THE DIGITAL REVOLUTION: AN ASSET IN DESIGNING SAFER WORKSTATIONS

With the boom in digital technologies, this paper sets out to illustrate the possibilities currently offered, which enable design tool-integrated prevention to be put into practice.

Following a first section dedicated to describing the development of design and prevention tools, the paper's second section then considers the question of integrating prevention into the design environment, using two examples representative of the tools used in design and methods departments respectively. Finally a third section opens the discussion on development prospects for the "prevention-design" duo in coming years.

- Advance technology
- Design
- Workstation

C'est à ces questions que tente de répondre cet article à travers deux exemples représentatifs des outils utilisés respectivement dans les bureaux d'études et dans les bureaux des méthodes : le dessin industriel pour le premier et les temps standards prédéterminés pour le second.

Après une illustration de l'évolution des outils de conception et des outils de prévention, est ensuite abordée, toujours au travers des exemples retenus, la question de l'intégration de la prévention dans l'environnement de conception. Enfin, les perspectives d'évolution du tandem « prévention-conception » sont discutées.

ÉVOLUTION DES OUTILS DE CONCEPTION

EXEMPLE D'ÉVOLUTION D'UN OUTIL DU BUREAU D'ÉTUDE : LE DESSIN INDUSTRIEL

À la fin des années 80, les ingénieurs et techniciens de bureaux d'études dessinaient manuellement les différents plans de l'équipement qu'ils concevaient sur du papier calque, à l'aide de critères, gommages, stylos à encre, lames de rasoir, compas, équerres. Ils utilisaient pour cela des manuels de mécanique dont le fameux « Chevalier » [1], des abaques de dimensionnement et des catalogues de produits standards. Avec l'apparition des PC, cette vision du concepteur caché derrière sa planche à dessin va peu à peu disparaître pour être aujourd'hui quasiment révolue.

En effet, si les premiers travaux dans le domaine du dessin assisté par ordinateur (DAO) remontent aux années 60 [2], c'est seulement à partir des années 80 que sont apparus les premiers logiciels commerciaux de DAO accessibles aux PME/PMI (1^{ère} version d'Autocad™ en 1982). Mis à part l'adaptation à l'informatique, avec des interfaces peu conviviales, ces premiers logiciels n'ont pas réellement modifié la façon de travailler des dessinateurs. En effet, les performances des PC et de ces premiers logiciels de DAO ne permettaient qu'une utilisation en phase finale de conception. Ils étaient alors essentiellement utilisés comme un

moyen de représentation « au propre », tel que l'était avant le dessin à l'encre sur calque. Les phases d'avant-projet, de recherche de solutions et de documentation étaient toujours réalisées de façon traditionnelle.

Favorisés par l'augmentation permanente des performances des PC, les éditeurs de logiciels de dessin vont proposer des interfaces de plus en plus conviviales et des fonctions de dessin de plus en plus performantes (hachurage, cotation automatique, édition de nomenclature, bibliothèques de composants standards pré-dessinés, etc.). Ces évolutions, qui soulagent les concepteurs des tâches les plus répétitives, voire fastidieuses, vont permettre une diffusion de plus en plus large de la DAO dans les bureaux d'études.

Dans les années 90, une nouvelle mutation va s'opérer avec le passage du dessin en 2D à la conception en 3D, plus connue sous l'acronyme CAO pour conception assistée par ordinateur (cf. Figure 1).

Ainsi, après s'être adaptés à l'utilisation de l'informatique, les concepteurs vont alors devoir passer de la vue plane, en « coupe », à une approche en volume. Toujours tirés par l'évolution des performances des ordinateurs, ces logiciels de CAO initialement conçus pour dessiner, vont intégrer de plus en plus de modules de calculs et de simulations physiques. Il est ainsi aujourd'hui possible de lancer directement des analyses de validation en termes de résistance des matériaux,

d'écoulement de fluides, d'échanges thermiques... et, ce, au fur et à mesure de l'évolution de la conception.

Cette évolution des outils de conception, et par la même de l'activité des concepteurs, est loin d'être terminée. Elle est même, dans le contexte de compétitivité actuel, de plus en plus rapide afin de permettre la réduction des coûts et des délais de développement de nouveaux produits toujours plus complexes.

C'est dans ce contexte que sont apparus ces dernières années des modules permettant l'intégration :

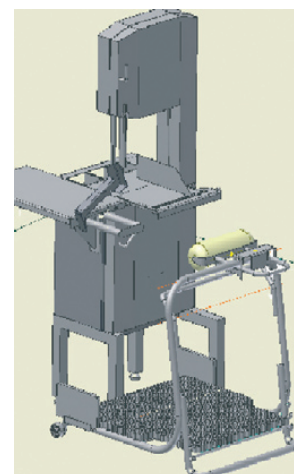
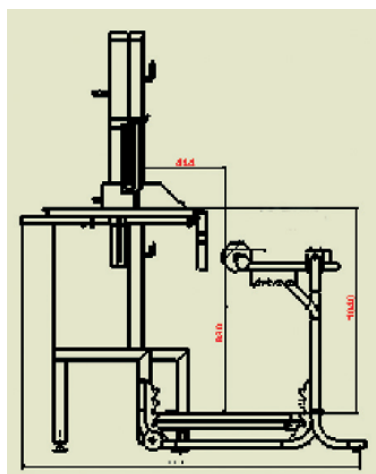
■ des règles de « savoir-faire » en conception mécanique : le « knowlegeware ». Par exemple, lors de la conception d'un perçage sur une pièce, si le concepteur positionne le trou trop près du bord de la pièce, le logiciel de CAO indiquera le non-respect d'une règle de conception spécifiée par l'entreprise,

■ de modules de gestion de processus ou « PLM »¹ [3]. Ces modules viennent en support des principes de l'ingénierie concurrente qui visent à intégrer de façon simultanée les différentes phases de développement et de production d'un produit [4]. De façon concrète, ces modules permettent le partage des données de conception (plans CAO, nomenclatures, plannings,

¹ PLM : Product Life cycle Management (gestion du cycle de vie des produits).

FIGURE 1

Illustration du passage de la DAO (à gauche) à la CAO (à droite)
Illustration of passing from CAD (drafting) (left) to CAD (design) (right)



coûts...) vers l'ensemble des acteurs d'un projet, tout en garantissant, entre autres, l'unicité de ces documents, le respect des procédures de l'entreprise et la sauvegarde de l'historique de conception.

■ des modules dits d'« usine numérique » qui permettent, notamment à l'aide des techniques de réalité virtuelle (RV) de valider toutes les étapes de conception et de production d'un nouveau produit avant sa réalisation physique [5].

Du fait des nouvelles compétences et des investissements nécessaires à la mise en place de ces nouveaux outils de conception, les différents stades de l'évolution de ces outils cohabitent encore aujourd'hui, selon les capacités financières et les activités des entreprises. Ainsi, si les grands groupes industriels, et quelques uns de leurs sous-traitants de premier rang, utilisent les techniques les plus avancées [6], la majorité des PME/PMI françaises utilisent encore des logiciels de DAO 2D [7].

EXEMPLE D'ÉVOLUTION D'UN OUTIL DU BUREAU DES MÉTHODES : L'ANALYSE DES TEMPS

Après la conception du produit par le bureau d'études, un autre service, celui des méthodes, prend le relais pour concevoir et mettre en œuvre les moyens nécessaires à la fabrication du produit compte tenu des impératifs économiques. En effet, la décision de valider un projet de nouvelle ligne de fabrication est conditionnée par les différents investissements nécessaires à sa réalisation et à son fonctionnement. De ce fait, il faut pouvoir être en capacité d'évaluer très tôt ces coûts et notamment celui de la main d'œuvre. À partir des différentes opérations à réaliser et de la capacité de production à atteindre, le travail des agents des méthodes consiste à déterminer le nombre d'opérateurs sur la nouvelle ligne, à prescrire pour chacun d'eux une liste de tâches à réaliser et à décrire le mode opératoire associé. Le but est d'équilibrer, en termes de durée, les différentes opérations devant être effectuées sur chacun des postes de la ligne afin que le travail prévu sur un poste ne réduise pas la cadence de travail de l'ensemble de la ligne.

C'est dans ce cadre qu'il est fait appel aux systèmes de temps prédéterminés dont l'origine remonte à la fin du XIX^e siècle. En effet, c'est en 1885 que

F. Taylor, alors contremaître à la Midvale Steel Company, a énoncé le principe suivant : « *La plus grande production est obtenue lorsqu'un ouvrier reçoit une tâche définie, à exécuter dans un temps défini et d'une manière définie* ». Les travaux menés durant une vingtaine d'années par Taylor, l'homme de la mesure des temps et par Gilbreth, l'homme de l'analyse des mouvements, donnèrent naissance à « l'organisation des méthodes » et à l'élaboration de temps standards prédéterminés [8].

Depuis 1926, date d'introduction du premier système de mesure des temps appelé MTA (Motion Time Analysis), de nombreux systèmes de mesures des temps ont fait leur apparition. Parmi les plus célèbres, il est possible de citer : MTS (motion time survey, 1928), WF (work factor, 1934), MTM (methods-time measurement, 1948 pour la version initiale MTM-1 ; 1965 pour la seconde version MTM-2 ; 1970 pour la troisième version ; et de 1975 à 1984 pour les versions successives MTM-UAS, MTM-MEK et MTM-SAM), MODAPTS (modular arrangement of predetermined time standards, 1966), MOST (Maynard operation sequence technique, 1980) [9]. Ces différentes versions sont nées de la nécessité de s'adapter aux évolutions des modes de production (diminution des lots, flexibilité), de la durée des temps de cycle et à la diversité des produits présents sur le marché. Elles se différencient principalement par la finesse de la décomposition des mouvements prescrits : plus une méthode nécessite une analyse fine de la gestuelle, plus elle sera précise sur le temps prévu, mais plus la durée d'analyse sera grande et vice-versa. Ainsi, pour une durée de cycle inférieure à 1 minute, il sera préférable d'utiliser la méthode MTM-1 alors que la méthode MTM-UAS sera plus appropriée pour des durées de cycle supérieures à 2 minutes : l'erreur commise dans le deuxième cas sur le temps estimé, rapportée à la durée totale du cycle, portant moins à conséquence que dans la première situation. En termes de temps d'analyse, le codage d'une minute de travail par la méthode MTM-1 nécessite environ une journée de travail à un agent des méthodes alors que sur la même période il pourra coder 2 à 3 minutes avec la méthode MTM-2 et 5 à 8 minutes avec la méthode MTM-UAS [10].

Ces méthodes ont également bénéficié de l'essor des techniques informatiques. En effet, l'utilisation d'envi-

ronnements de type tableur ou base de données sont d'une aide efficace pour la gestion des données nécessaires à ces méthodes, le calcul des temps opératoires, la constitution de gammes et d'équilibrage des lignes d'assemblage, etc. (cf. Figure 2).

ÉVOLUTION DES OUTILS DE PRÉVENTION

Jusqu'au début des années 80, la prévention était essentiellement assurée de façon corrective. Des mesures de protection, généralement techniques, étaient mises en place après la survenue d'un accident afin d'éviter qu'il se reproduise. Mais suite à la promulgation de la loi du 6 décembre 1976 et de ses décrets du 15 juillet 1980, la notion de « Prévention intégrée » est apparue. Elle consiste à appliquer au plus tôt des principes de conception sûre à un futur équipement de travail. La stratégie préconisée est centrée sur une estimation *a priori* des risques ; elle fixe comme objectif au concepteur d'équipements de travail d'obtenir le niveau de risque résiduel le plus faible possible compte tenu de l'état de la technique (cf. Figure 3).

Cette notion a ensuite été étendue au niveau européen par l'adoption au début des années 90 de la directive dite « Machines » 89/392/CEE [11] qui reprenait pour l'essentiel les décrets de 80. Depuis, le champ d'application et les règles techniques n'ont cessé de s'élargir, notamment avec la nouvelle version de cette directive [12].

Comme toute autre activité liée à la conception, sa mise en pratique nécessite l'utilisation d'outils spécifiques par les ingénieurs et les techniciens des bureaux d'études et des méthodes.

C'est dans ce sens que le comité européen de normalisation (CEN) a mis en place un programme de normalisation en matière de conception et de sécurité des machines. C'est en effet dans ces normes que sont déclinés des principes de solutions pour l'intégration de la sécurité et de l'ergonomie à la conception d'équipements de travail (cf. Figure 4) [13-15].

Entre les années 80 et aujourd'hui, ce référentiel normatif n'a cessé d'évoluer afin, d'une part, de couvrir un champ d'application de plus en plus large et, d'autre part, de fournir des prescriptions de plus en plus détaillées. On est ainsi passé de quelques dizaines de normes à plusieurs centaines (cf. Figure 5).

Dans le même état d'esprit, il existe différents guides et recueils techniques élaborés par des instituts de prévention, des centres techniques, des fédérations industrielles, etc. Ces documents ont pour objectif d'aider les concepteurs, notamment ceux des PME/PMI, à se retrouver dans le dispositif réglemen-

taire et normatif toujours plus complexe. Bien que très utiles, ils viennent se rajouter aux nombreux documents « papiers » existants (normes).

Comme dans beaucoup d'autres domaines, la principale évolution constatée au niveau documentaire est celle liée à l'essor des techniques informatiques et, plus particulièrement, à Internet qui permet des fonctions d'accès, de traitement et d'exploitation de ces documents plus efficaces, au travers de sites web, de CD ROM, de liens hypertextes... À titre d'exemple, on peut citer au niveau français :

- le site de l'INRS (www.inrs.fr) ou les différents sites des CRAM qui permettent, via des mots clés, le téléchargement de brochures,
- les sites Perinorm (<http://www.perinorm.com>), Sagaweb (<http://sagaweb.afnor.fr>) pour la recherche et la commande de normes.

En complément de ces différentes ressources documentaires, il existe également quelques outils spécifiques réellement opérants pour la prise en compte de la prévention des risques à la conception d'équipements de travail.

FIGURE 2

Exemple de support logiciel utilisé pour une analyse de temps prédéterminés (source Cabinet LACHEVRE SA)

Example of software support used to analyse predetermined times (source: Cabinet LACHEVRE SA)

Sgne	Description Main Gauche	MG	FR	Temps	MD	Description Main Droite
1	AGRAFE DANS POICHE	PB30	1	19.0		
2		GC15	1	19.0		
3	DEGAGER	PA30	1	11.0		
4	TRANSFERT	PA30	1	11.0		
5			1	7.0	GB5	AGRAFE
6			1	6.0	PA15	ORIENTER AGRAFE
7	AGRAFE	GB5	1	7.0		
8	ORIENTER	(PA15)	1	7.0	GB5	AGRAFE
9						
10	TUYAU	GB30	1	14.0		
11			1	19.0	PE30	POSITIONNER AGRAFE / TUBE HYDRAULIQUE 1
12			1	14.0	A	CLIPSER
13			1	3.0	PA5	
14			1	6.0	R	AGRAFE
15			1	10.0	PE5	POSITIONNER / TUBE HYDR. 2
16			1	14.0	A	CLIPSER
17			1	3.0	PA5	
18			1	10.0	GB15	TUYAU L'ECARTER
19			1	6.0	PA15	
20			1	14.0		
21	AGRAFE	GB30	1	14.0		
22	L'ECARTER	PA5	1	3.0		
23			1	15.0	PE15	POSITIONNER TUYAU / AGRAFE
24			1	14.0	A	CLIPSER
25			1	3.0	PA5	

FIGURE 3

Processus de réduction du risque d'après [13]
Ensuing risk reduction process [13]

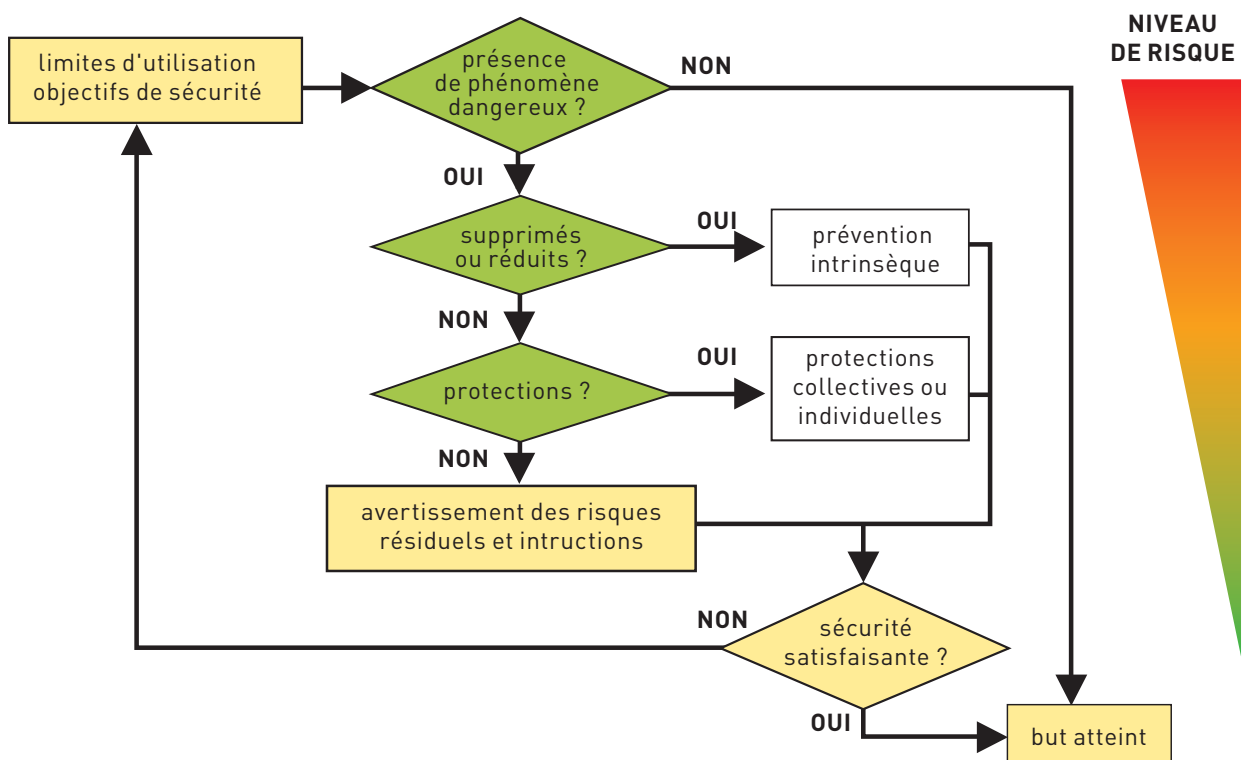


FIGURE 4

Exemple de conception d'un protecteur de maintien à distance en sortie d'une machine [16]

Example showing design of a distance maintaining protector ensuring protection from a machine feed or output zone [16]

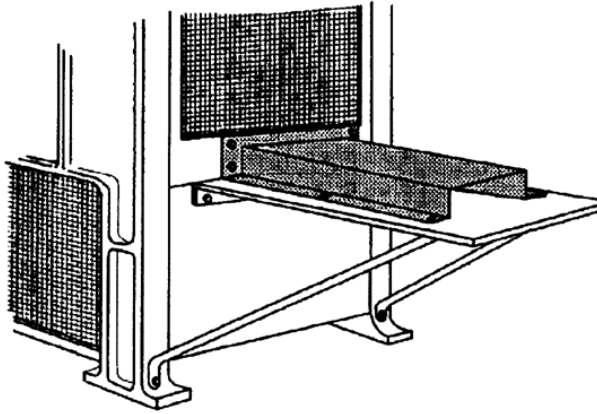
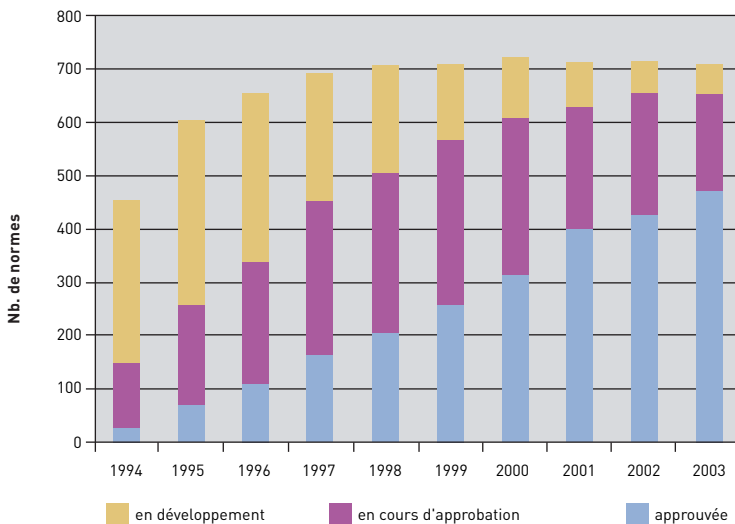


FIGURE 5

Évolution du nombre de normes entre 1994 et 2003 (source CEN)

Growth in number of standards between 1994 and 2003 (source: ESC)



Par exemple, dans le domaine de l'ergonomie, différents logiciels permettent le dimensionnement de l'espace de travail, le calcul des efforts et des fréquences autorisés pour certaines actions, etc. Il s'agit notamment des logiciels JET² (job evaluator toolbox), MMH³ (manual materials handling), EEPP⁴ (energy expenditure prediction program), 3DSSPP⁵ (3D static strength prediction program) ou encore de la base de données EKIDES⁶ développée par l'Institut d'ergonomie de l'Université de Munich [17].

Signalons enfin, le logiciel Loginorme développé par l'INRS et l'éducation nationale pour la mise en œuvre de la démarche de prévention intégrée [18]. Bien que dédié à l'enseignement dans les filières

industrielles (BTS MAI⁷), il peut également être utile aux ingénieurs et techniciens de bureaux d'études.

INTÉGRATION DE LA PRÉVENTION DANS LES OUTILS DE CONCEPTION

À l'instar des modules de calcul et de simulation physique, des règles de dessin et de conception mécanique, des temps prédéterminés..., les outils supportant la démarche de prévention intégrée ont-ils également été incorporés dans les outils

des concepteurs ? Comme en témoignent les deux exemples ci-après, on constate des premières tentatives dans ce sens, notamment dans la prise en compte de critères ergonomiques pour la conception des postes de travail.

EXEMPLE D'INTÉGRATION DANS LES OUTILS DE DESSIN INDUSTRIEL

Ce premier exemple concerne l'intégration de modules dits « mannequins numériques » qui permettent la représentation graphique d'une personne dans un environnement CAO. Initialement, ces mannequins numériques n'étaient que statiques et il n'était possible de faire varier que leurs dimensions anthropométriques, certains éléments de la posture et d'observer la zone d'atteinte de leurs mains.

Les principaux logiciels commerciaux de mannequins intégrés à l'univers de la conception d'équipements de travail sont listés en annexe, les deux plus connus sont JACKTM et HUMANTM respectivement commercialisés par les sociétés Siemens UGS et Dassault Systèmes.

Avec ces logiciels, il est aujourd'hui possible d'animer ces mannequins numériques et de réaliser une simulation en 3D « d'une activité future probable » d'un opérateur à son poste de travail (cf. Figure 6).

Le concepteur peut ainsi observer comment certaines évolutions de conception affectent les conditions de travail des futurs opérateurs [19]. Pour ce faire, ces logiciels intègrent des évaluateurs ergonomiques, biomécaniques et physiologiques tels que la méthode RULA⁸, l'équation du port de charge du NIOSH⁹, ou encore le calcul de la dépense énergétique (cf. Annexe).

² <http://www.ergoweb.com/software/jet/>

³ <http://www.nexgenergo.com/ergonomics/ergointelmmh.html>

⁴ <http://www.engin.umich.edu/dept/ioe/engexp/>

⁵ <http://www.umichergo.org/>

⁶ EKIDES : (Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System).

⁷ MAI : Mécanique et Automatismes Industriels.

⁸ RULA : Rapid Upper Limb Assessment.

⁹ NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health.

FIGURE 6

Exemple de simulation en 3D d'un poste de travail (Human™)
 Example of 3D workstation simulation (Human™)



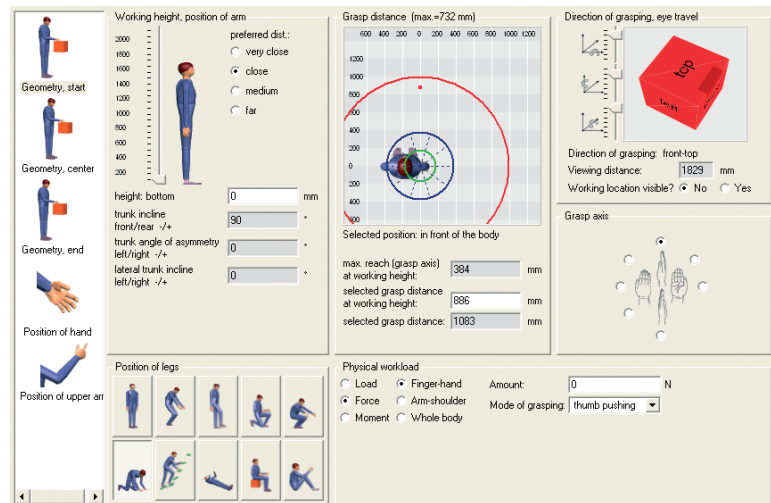
Bien que très attrayante, l'utilisation de ces logiciels de mannequins numériques n'en reste pas moins soumise à certaines limitations. La première, et sans doute la plus fondamentale, concerne la représentativité de l'activité simulée par rapport à l'activité future. L'ergonome parle de différences entre le travail prescrit et le travail réel [20] or, un mannequin ne permet de représenter qu'un nombre limité de situations de travail « prescrites » (suivant le nombre de simulations envisagé). Même si d'énormes progrès ont été réalisés, il est trop tôt aujourd'hui pour conclure sur le degré de réalisme, en termes de postures adoptées ou d'efforts calculés par ces logiciels par rapport à ce qui est observable sur une situation de travail réelle [21].

La deuxième limitation est relative à l'utilisation de ces logiciels. En effet, d'un point de vue pratique, de nombreux progrès sont souhaitables afin de rendre l'animation de ces mannequins plus conviviale. Par exemple, le ratio estimé entre la durée d'une séquence d'animation et le temps pour la réaliser est d'environ 1/300.

Enfin, la dernière limitation concerne le coût de ces logiciels qui reste très élevé (plusieurs dizaines de milliers d'euros pour les plus performants), ce qui limite la cible des utilisateurs aux grands groupes industriels de l'automobile ou de l'aéronautique.

FIGURE 7

Exemple de fenêtre de saisie du module MTM-Ergo [27]
 Example of MTM-Ergo module input window [27]



EXEMPLE D'INTÉGRATION DANS LES SYSTÈMES DE TEMPS PRÉDÉTERMINÉS

Ce second exemple est en relation avec les systèmes de temps prédéterminés utilisés par les agents des méthodes. Face à l'évolution sociétale et à l'augmentation croissante du nombre de pathologies d'origine professionnelle de type trouble musculosquelettique (TMS), les entreprises qui réalisent de l'assemblage manuel (automobile, électronique ou électroménager), utilisant des systèmes de temps prédéterminés, ont été sensibilisées à la nécessité d'une conception plus « ergonomique » de leur situation de travail. Aussi, dans un souci d'éviter la prévision d'une activité trop intense, certains outils logiciels proposent de combiner une analyse de temps prédéterminés avec une évaluation des sollicitations de l'opérateur.

Quatre outils de ce type ont été recensés :

■ IMD standard time data qui couple la méthode de mesure des temps MTM-SAM avec l'évaluateur ergonomique dit du « Modèle du cube » [22, 23],

■ ErgoMOST qui combine une analyse de mesure du travail MOST et une analyse ergonomique permettant d'établir un indice relatif de contrainte appelé ESI (Ergonomic Stress Index) [24],

■ MTM-Ergo qui associe une analyse de type MTM-UAS/MEK avec différents évaluateurs ergonomiques tels que

des analyses de lever et port de charges (cf. Figure 7) [25],

■ EQUINOXE qui allie une analyse des temps (MTM-1/2/UAS/SAM/MEK, MODAPS ou MTS) avec l'évaluateur ergonomique OCRA (occupational repetitive actions) [26].

Intéressants dans leur principe, ces outils se heurtent néanmoins à des difficultés similaires à celles rencontrées pour les logiciels de mannequin numérique, à savoir le niveau de confiance dans l'évaluation ainsi réalisée (prescrit vs réel) et les difficultés pour renseigner *a priori* les paramètres nécessaires aux évaluateurs ergonomiques (effort, posture et répétitivité).

DISCUSSION

Comme nous venons de le voir, l'activité des agents de bureaux d'études et les moyens mis à leur disposition ont beaucoup évolué ces 20 dernières années, passant de la planche à dessin au poste informatique et du simple dessin en 2D à la conception et à la simulation en 3D.

Bien qu'indépendantes des évolutions en matière de prévention des risques, ces mutations technologiques des outils de conception ont néanmoins participé à l'amélioration du niveau de

sécurité des équipements de travail. En effet, les différents modules de calcul, de simulation, de règles de conception intégrés aux outils de CAO actuels ont permis de réduire les erreurs de conception et ainsi les risques de dommage liés à des défaillances techniques. De même, en étant compréhensibles par des non-spécialistes du dessin industriel, les modèles 3D jouent, en tant qu'instruments d'échanges d'informations, un rôle prépondérant dans la communication et la coordination entre les différents acteurs de la conception [28], conditions indispensables pour la mise en pratique de la notion de prévention intégrée [29].

Enfin, les dernières évolutions qui ont conduit à l'intégration de modèles anthropométriques (mannequins numériques) dans les environnements de CAO facilitent le dimensionnement des postes de travail et bien qu'étant rudimentaires, elles permettent la prise en compte d'un premier niveau d'interaction homme-système.

En ce qui concerne les systèmes de mesures des temps utilisés par les agents des méthodes, ils ont avant tout été introduits dans le but de rationaliser et d'augmenter la productivité. Si certains facteurs humains ont été pris en considération lors de l'élaboration de ces systèmes, il s'agissait, non pas de rechercher une baisse des sollicitations, mais d'essayer de tirer partie du maximum de travail qu'un opérateur pouvait fournir. Contrairement à l'évolution des outils de dessin industriel, cette évolution n'a pas toujours conduit à une amélioration des conditions travail ; la recherche d'une optimisation maximale des modes opératoires, avec comme critère principal d'évaluation le temps de cycle, n'étant généralement pas compatible avec la recherche d'une conception ergonomique d'un poste de travail. Comme le soulignent Hubault et Bourgeois [30] dans un contexte d'étude sur la problématique TMS, la chasse systématique aux opérations dites « sans valeur ajoutée » afin de gagner quelques secondes, entraîne également une augmentation de la charge physique (densification des gestes, plus rapides et plus compacts) et de la charge mentale de l'opérateur (plus grande dépendance organisationnelle).

Cet exemple montre bien l'intérêt de proposer aux agents des méthodes des moyens complémentaires leur permet-

tant de prendre en considération non seulement le temps de cycle prévu, mais également les sollicitations biomécaniques liées à la gestuelle envisagée.

Enfin, les ressources documentaires en matière de prévention intégrée (normes, guides, etc.) n'ont cessé d'augmenter afin, d'une part, de couvrir un champ d'application de plus en plus large et, d'autre part, de fournir des prescriptions de plus en plus détaillées, l'essor des techniques liées à Internet ayant facilité l'accès à ces informations. Malgré cela, on constate toujours notamment dans les PME/PMI, que les chefs de projets, les projeteurs, les dessinateurs et les autres agents des méthodes, qui sont avant tout des concepteurs de systèmes techniques et non pas des spécialistes en prévention des risques, ne savent pas comment exploiter cette énorme quantité d'informations, retenir ce qui est applicable et à quel moment en tenir compte sans pénaliser les coûts et les délais de leurs projets [31].

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Si l'évolution des outils, de conception et ceux relatifs à la prévention intégrée, tend à rendre plus sûrs les machines et équipements nouvellement conçus, il reste néanmoins beaucoup de progrès à réaliser.

En effet, du fait des nouvelles compétences, des investissements nécessaires à la mise en place de ces nouveaux outils logiciels de conception (CAO - 3D, mannequin numérique) et de la complexité du système normatif actuel, la principale modalité d'intégration de la sécurité dans les PME/PMI repose encore trop souvent sur les connaissances individuelles des projeteurs et des chefs de projets (expertise, retour d'expérience plus ou moins formel, etc.). L'intégration de la sécurité est alors abordée de façon secondaire par rapport aux objectifs fonctionnels. Les aspects liés à la sécurité et à l'ergonomie sont vus en fin de projet, lors de la réception finale de l'équipement par le client ou par un organisme de contrôle. Il est alors trop tard pour remettre en cause des choix de conception et les mesures prises sont obligatoirement correctives, principalement afin de satisfaire à la

réglementation. Certes, l'équipement sera conforme, mais il ne s'agit pas là d'une réelle intégration de la sécurité à la conception prenant en compte l'activité future des opérateurs [32].

Pour atteindre les objectifs visés en matière d'intégration de la prévention à la conception, il est indispensable de proposer aux concepteurs de nouveaux modules, compatibles avec les outils logiciels qu'ils utilisent, favorisant l'exploitation de connaissances partagées (normes, recueils, guides, etc.). Par exemple, il faut que les techniques associées au concept d'« Usine Numérique » (mannequin numérique, RV) évoluent pour permettre des simulations, et donc des évaluations des futures conditions de travail, plus réalistes. C'est là tout l'enjeu de réseaux tels que PERF-RV2¹⁰ en France ou INTUITION¹¹ au niveau européen. Il faut également que les outils « PLM » qui arrivent sur le marché intègrent des modules relatifs aux processus d'intégration et de choix de moyens de prévention à la conception.

Alors, les concepteurs pourront être guidés dans la mise en application de la démarche de prévention intégrée, avoir accès à des bibliothèques de principes de prévention, vérifier le respect de préconisations normatives et évaluer rapidement (depuis leur poste de CAO ou leur feuille de calcul de temps prédéterminés), différentes solutions de conception en termes de niveaux de risques.

Bien entendu, la mise en pratique de la notion de « Prévention intégrée » ne se limite pas à l'utilisation d'outils tels que nous venons de les voir. En effet, du point de vue de l'ingénierie, cette démarche doit également être abordée selon les points de vue « processus » (qu'entend-on par « concevoir sûr » ?), « produit » (qu'entend-on par « système sûr » ?) et les relations produit-processus.

¹⁰ PERF-RV2 : « Plate-forme française de réalité virtuelle - L'Humain Virtuel au travail dans l'Usine du Futur » Projet national soutenu par le ministère chargé de la recherche et de la technologie dans le cadre du Réseau National de recherche et d'innovation en Technologies Logicielles (<http://www.rntl.org/projet/resume2005/perfrv2.htm>).

¹¹ INTUITION : « ThematIc NeTwork on virtUal reality and virtual environments applicATIOns for future workspaces » Réseau d'Excellence européen (6^{ème} PCRD) <http://www.intuition-eunetwork.net>

Ces différents aspects ont d'ailleurs été largement développés ces dernières années [29, 31, 33, 34, 35].

Enfin, si l'évolution des outils de conception tend à rendre plus sûrs les machines et les équipements nouvellement conçus, qu'en est-il des conditions de travail des concepteurs ? Comme dans beaucoup d'autres secteurs professionnels, on est passé du risque d'accident, certes faible (coupure avec les grattoirs, piqûre avec les pointes de compas,

voire choc avec une planche à dessin mal équilibrée) à un risque avéré d'apparition de pathologies, de type trouble musculosquelettique, liées au travail intensif sur postes informatiques [36].

Reçu le : 04/10/2007

Accepté le : 21/01/2008

ANNEXE

PRINCIPAUX LOGICIELS COMMERCIAUX DE MANNEQUINS NUMÉRIQUES

Modèle	Société	Nb. Segments	Animation	Population	Principales fonctionnalités									
					Champ de vision	Zones d'atteintes	Détection de collision	Efforts statiques	Lever/poser manutention manuelle	Dépense énergétique	Fatigue	Owas	RULA	MTM
Jack	UGS/ Tecnomatix	69	Directe/ inverse	H/F P/M/G	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
eM-Human	UGS/ Tecnomatix	100	Directe/ inverse	H/F	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Oui
Delmia/ Safework	Delmia/ safework	100	Directe/ inverse	H/F	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
Process Engineer	Delmia	?	Directe	H/F	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui
Ramsis	Human Solutions	54	Directe/ inverse	H/F/E P/M/G	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non
										Ramsis dispose de nombreux outils spécifiques pour l'étude de mannequins placés à l'intérieur d'un véhicule (confort, sécurité,...)				
Sammie	SAMMIE CAD Ltd	21	Directe/ inverse	H/F	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Mannequin	Nexgenero	?	Directe/ inverse	H/F	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
Boeing Human Modeling	Boeing	?	Directe	H/F	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non

BIBLIOGRAPHIE

- [1] A. CHEVALIER – *Guide du dessinateur industriel*, Hachette, Paris, 1977, ISBN 2-01-001176-7, 320 p.
- [2] I.E. SUTHERLAND – *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*, AFIPS Spring Joint Computer Conference, Detroit, Michigan, May 21-23, 1963, pp. 329-346.
- [3] D. DEBAECKER – *PLM - La gestion collaborative du cycle de vie des produits*, Éditions Hermès, Paris, 2004, ISBN 2-7462-0884-9, 292 p.
- [4] C. DECREUSE, D. FESCHOTTE – *Ingénierie simultanée*, Techniques de l'Ingénieur, A 5310, 14 p.
- [5] *L'usine numérique bientôt complète*, L'automatise N° 37, 2004, pp. 34-36.
- [6] *La réalité virtuelle aujourd'hui dans l'automobile*, Recueil des conférences, journées techniques SIA du 19/10/2006.
- [7] E. HAENSEN – *Vers l'usine numérique partagée*, La Tribune, 9 mars 2006, p. 41.
- [8] D. W. KARGER, F. H. BAYHA – *La mesure rationnelle du travail - MTM et systèmes de temps prédéterminés*, Gauthier-Villars Éd., 1975, ISBN 2-04-004469-2, 424 p.
- [9] G. CARAGNO, H. FISHER H. – *MTM- first time right. International MTM Directorate*, Éd. German MTM Association, 2005, ISBN 3-9809466-0-6, 135 p.
- [10] Association MTM Française. *Communication personnelle*. Décembre 2006.
- [11] Directive 89/392/CEE du 14 juin 1989 – *Rapprochement des législations des états membres relatives aux machines*, JO-CE N° L 183 du 29/06/1989 - pp. 9-32.
- [12] Directive 2006/42/CE du 17 mai 2006 relatives aux Machines, JO-UE N° L 157 du 9/06/2006 - pp. 24-86.
- [13] NF EN ISO 12100 Parties 1 et 2 – *Sécurité des machines - Notions fondamentales, principes généraux de conception*, AFNOR, Paris, janvier 2004.
- [14] *Sécurité des Machines - Conception*, Tomes 1 à 4, AFNOR, 2004.
- [15] *Ergonomie des postes et lieux de travail*, Tomes 1 à 2, AFNOR, 2005.
- [16] NF EN 953 Parties 1 et 2 – *Sécurité des machines - Protecteurs : prescriptions générales pour la conception et la construction des protecteurs fixes et mobiles*, AFNOR, Paris, décembre 1997, 40 p.
- [17] H.SCHMIDTKE, I.JASTRZEBSKA-FRACZEK – *Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System*. <http://www.lfe.mw.tu-muenchen.de/~fraczek/ekidesE.html>
- [18] *Loginorme, Concevoir une machine sûre*, INRS, Logiciel PC, version 1.0, 12/1996.
- [19] D.B. CHAFFIN – *Digital Human Models for ergonomic design and engineering. in Working Postures and Movements, Tools for evaluation and Engineering*, Ed. By Delleman N. J., Haslegrave C. M., et Chaffin D. B. CRC Press, 2004, pp. 426-431.
- [20] F. DANIELLOU, P. BÉGUIN. – *Méthodologie de l'action ergonomique : approches du travail réel*, Ergonomie, Presses Universitaires de France, Paris, 2004, pp. 335-358.
- [21] J. SANTOS, J. M. SARRIEGI, N. SERRANO, J. M. TORRES – *Using ergonomic software in non-repetitive manufacturing processes: A case study*, International Journal of Industrial Ergonomics, 37, 2007, pp. 267-275.
- [22] R. KADEFORS – *Evaluation of working situations using the cube model approach*, 13th Triennial Congress – IEA 1997, Tampere, Finland, Vol. 4, pp. 174-176.
- [23] J.LARING, M.CHRISTMANSSON, R. KADEFORS, R. ÖRTENGREN – *ErgoSAM: A preproduction risk identification tool*, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 15(3), 2005, pp.309-325.
- [24] J. R. WILK – *Work stress quantification and evaluation using ErgoMOST*, International Encyclopaedia of Ergonomics and Human Factors, W. Karwowski (Ed), Taylor & Francis, 2001, pp. 1915-1919.
- [25] NIOSH – *Work practice guide for manual lifting*, Technical report, N° 81-122, Department of Health and Human service, NIOSH, 1991, San Francisco, California.
- [26] E. OCCHIPINTI – *OCRA: a concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs*, Ergonomics, 41, 1998, pp. 1290-1311.
- [27] K. G. SCHAUB – *MTM-Ergo: Applications in German Industry*, Conférence TMS et MTM, 13-14 octobre 2005, Paris.
- [28] S. MER, S. TICHKIEWITCH, C. JEANTET – *Les objets intermédiaires de la conception : modélisation et communication*, Le communicationnel pour concevoir, Europia Productions, Paris, 1995, ISBN 2.90928.504.9, 330 p.
- [29] J. MARSOT – *Conception et Ergonomie : Méthodes, Outils et propositions d'actions pour intégrer l'Ergonomie dans le cycle de développement des Outils à Mains*, NST 219, INRS, 2002, 69 p.
- [30] F. HUBAULT, F.BOURGEOIS – *Disputes sur l'ergonomie de la tâche et de l'activité ou la finalité de l'ergonomie en question*, activités, Vol. 1, N° 1, 2004, pp 34-53.
- [31] J. C. BLAISE, P. LHOSTE, J. CICCOTELLI – *Formalisation of normative knowledge for safe design*, Safety Science, Vol. 41, Issues 2-3, March 2003, pp. 241-261.
- [32] C. DE LA GARZA – *L'intégration de la sécurité lors de la conception de machines à risques pour les opérateurs : comparaison de logiques différentes de conception*, PISTES, Vol. 7, N° 1, février 2005, 17 p.
- [33] R. HASAN, A. BERNARD, J. CICCOTELLI, P. MARTIN – *Integrating safety into the design process : elements and concepts relative to the working situation*, Safety Science - Special issue «Safety in design», Vol. 41 N° 2-3, mars 2003, pp. 155-180.
- [34] E. FADIER, C. DE LA GARZA – *Safety design: Towards a new philosophy*, Safety Science, Vol. 44, 2006, pp. 55-73.
- [35] E. FADIER, J. CICCOTELLI – *How to integrate safety in design: Methods and Models*, Human factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 9 (4), 1999, pp. 367-379.
- [36] F. CAIL, M. APTEL – *Troubles musculosquelettiques du membre supérieur : facteurs de risque en conception assistée par ordinateur (CAO) et en saisie*, DMT 104 TF 45, INRS, 2005, pp. 485-492.