

Adaptation de l'ergonomie prospective aux systèmes à longue durée de vie

Jean-René Ruault ^(1,2), Emmanuel Gardinetti ⁽¹⁾, Christophe Kolski ⁽²⁾ & Frédéric Vanderhaegen ⁽²⁾

(1) DGA, 7-9 rue des Mathurins, 92 221 Bagneux, cedex {prenom.nom}@intradef.gouv.fr

(2) UVHC, LAMIH, UMR-CNRS 8201, Le Mont Houy, F-59313 Valenciennes, {prenom.nom}@univ-valenciennes.fr

Abstract. The goal of prospective ergonomics is to anticipate human needs and activities with the aim of creating new artefacts and services. It completes the concepts, methods and tools of corrective ergonomics and preventive ergonomics to deal with the current stakes of innovative artefacts and new uses. We investigate prospective ergonomics, initially elaborated for innovative products, in order to adapt it to long life systems. We articulate prospective ergonomics with a traditional point of view on prospective by using the methods of scenarios, watching activity and by implementing personas. We integrate them into the appropriation process in order to implement an iterative design approach that corresponds to design for and by appropriation. Design for appropriation consists in offering a set of possibilities to operators so that they adapt and adopt the technological artefacts to perform their missions and activities. It leans on the experience feedback of the routine use of technologies after adaptation and appropriation by the operators. It is completed by the results of the watch activity. This approach allows the ergonomists' activities and methods to evolve. Ergonomists contribute to watch activity, to build scenario in a prospective approach, to identify operators' characteristics which evolve in time. This approach has also some impacts on system architecture. Sensors are inserted to collect information on the operational environment that the system encounters. This approach has also some impacts on engineering processes because the process of operation includes the experience feedback which supports design by appropriation.

Keywords: Prospective ergonomics, persona, appropriation process, systems engineering, prospective, retrospective.

I INTRODUCTION

Pour répondre aux enjeux actuels des artefacts innovants et des nouveaux usages qui peuvent en être faits, l'ergonomie prospective a pour but d'anticiper ou de construire les besoins et activités des êtres humains dans le but de créer de nouveaux artefacts ; elle complète les concepts, méthodes et outils de l'ergonomie corrective et

de l'ergonomie préventive (de conception) (Robert & Brangier, 2009). Initialement élaborée pour les produits innovants, nous adaptons l'ergonomie prospective aux systèmes à longue durée de vie.

Après avoir présenté les spécificités de ces systèmes, nous poursuivons avec un état de l'art dans lequel nous présentons les concepts clés sur lesquels nous fondons notre proposition, ainsi qu'une synthèse critique mettant en évidence les limites actuelles de ces démarches. L'état de l'art ne prétend pas faire un tour d'horizon systématique des concepts et méthodes actuels, mais s'attache à présenter ceux sur lesquels est fondée notre proposition, visant à compléter ces démarches pour combler les limites identifiées. Avant de conclure, nous formulons des recommandations pour la conception des systèmes à longue durée de vie, en termes d'ergonomie, d'ingénierie système et d'architecture.

II CONTEXTE DES SYSTÈMES À LONGUE DURÉE DE VIE

Nous appliquons la notion d'ergonomie prospective aux systèmes à longue durée de vie. Après avoir défini ces systèmes, nous montrons les difficultés rencontrées.

II.1 DÉFINITION D'UN SYSTÈME À LONGUE DURÉE DE VIE

Les systèmes conçus par les humains comprennent un ensemble d'éléments (matériels, logiciels, organisations et compétences humaines) en interaction les uns avec les autres, organisés pour répondre à un besoin. Les systèmes sur lesquels nous travaillons présentent des durées de vie de l'ordre de plusieurs dizaines d'années. Le navire USS Enterprise, dont la quille a été posée en février 1958, a été mis en service en novembre 1961 et retiré du service en décembre 2012. Avant sa mise en service actif, il a été spécifié, conçu, réalisé et qualifié. Son retrait de service est la première étape du dernier stade du programme de démantèlement prévu pour durer cinq ans et s'achever en 2016. Le Super Frelon est un hélicoptère qui a été conçu dans les années 50, dont le premier vol a eu lieu en 1962, il a été mis en service en 1966 et retiré du service en 2010. Le B52, un avion conçu dans les années 40 et mis en service en 1955, est toujours en service. Il est envisagé qu'il soit en service actif jusqu'en 2040, soit près d'un siècle. Quatre autres avions comptent plus de 50 ans de service actif. Ces systèmes sont régulièrement remis à niveau. De l'idée originelle aux déchets ultimes, la durée de vie de ces systèmes est d'une soixantaine d'années, voire plus. Les systèmes des centrales nucléaires présentent des durées de vie encore plus longues, de l'ordre de plusieurs centaines d'années en prenant en compte les déchets nucléaires.

Le domaine ferroviaire comprend des systèmes à longue durée de vie, que ce soit des infrastructures ou du matériel roulant. À l'origine des chemins de fer, l'écartement des voies était très varié. En 1845, le parlement britannique vota une loi fixant l'écartement des voies à 1435 mm. Cette valeur a été reprise par l'Union internationale des chemins de fer qui la recommanda comme largeur de la voie ferrée normale. Cet écartement des voies est l'objet d'une spécification technique relative au

sous-système « infrastructure » du système ferroviaire transeuropéen conventionnel, en date du 26 avril 2011 (Commission européenne, 2011). En ce qui concerne le matériel roulant, les rames MS61 de la ligne du RER parisien (pour Matériel Suburbain) ont été commandées en 1963 et mises en service en 1967. Après plusieurs remises à niveau, ces rames sont toujours en exploitation.

Pour certains systèmes, la longue durée de vie est définie dès l'idée initiale et ils sont conçus dans cette perspective. Des plans de visites d'inspection et d'entretien sont programmés dès la conception de ces systèmes. Pour d'autres systèmes, en revanche, la durée de vie est prolongée au-delà de ce qui était initialement envisagé. Cette prolongation est due à différentes raisons. Les programmes des nouveaux systèmes devant les remplacer subissent du retard. La durée de vie des anciens systèmes est prolongée attendant que les nouveaux systèmes soient finis et prêts à être déployés. Les raisons économiques, le manque d'argent pour acheter de nouveaux systèmes, sont aussi à l'origine de la prolongation de la vie de systèmes anciens.

D'autres systèmes présentent une durée de vie très courte, parfois très inférieure à ce qui avait été envisagé. Une trop forte spécialisation limitant la capacité à utiliser ces systèmes en dehors de leur domaine de définition ne leur permet pas d'être adaptés aux évolutions du cadre d'emploi. C'est par exemple le cas de l'avion Convair B58, contemporain du B52, qui n'a été employé que de 1960 à 1969.

Cette situation des systèmes existants qui sont en service ou en fin de vie est aussi celle des systèmes qui sont en cours de spécification, de conception ou de réalisation. Cette situation rend le travail des concepteurs et des ergonomes plus complexe et plus difficile. En effet, il s'agit de spécifier ces systèmes en effectuant des hypothèses sur ce que seront les missions qu'ils seront amenés à réaliser dans 30 ou 50 ans, avec des opérateurs (nous utilisons indifféremment opérateur et utilisateur dans la suite de l'article pour désigner les opérateurs ainsi que les agents de maintenance) qui ne sont pas encore nés ou qui sont encore enfants au moment de la conception du système. Les concepts, méthodes et outils de l'analyse prospective sont d'ores et déjà mis en œuvre dans les grands projets d'infrastructure ou de défense pour identifier les scénarios opérationnels probables à horizon de 30 ans. Ces scénarios opérationnels probables issus d'une analyse prospective sont la clef de voûte des processus de spécification et de conception de futurs systèmes.

II.2 RETOUR EN ARRIÈRE

Faute de pouvoir se projeter en 2063 pour savoir quel sera l'environnement des systèmes conçus aujourd'hui, afin de les spécifier au regard de cet environnement, il est possible de revenir en arrière, dans les années 60, lors de la conception des systèmes dont certains sont encore en service et d'autres retirés du service. Les ergonomes appliquaient des bonnes pratiques de l'ergonomie décrites dans les ouvrages de cette époque (Ombredane & Favergé, 1955). La démarche d'ergonomie s'appuyait sur ce qui était su des opérateurs et sur les opérations qu'ils étaient susceptibles de faire. Dans les années 1950 à 1970, il n'était pas envisagé de démonter et remonter le matériel pour mener des inspections approfondies, par

exemple pour évaluer si l'allongement de la durée de vie du système était possible. Cette difficulté n'a trouvé sa réponse que dans les années 1990 en incluant la modélisation des gestes d'entretien lors même de la conception de matériels. Cette situation rend les inspections plus difficiles et plus coûteuses. Aujourd'hui, en rétrospective (Colson & Cusset, 2008 ; Plassard, 2003), nous pouvons identifier les points qui n'ont pas pu être anticipés lors de la conception des systèmes existants ou qui ont été retirés du service. C'est le cas des systèmes qui ont été conçus à partir d'hypothèses implicites ou explicites sur les caractéristiques des opérateurs en charge de les mettre en œuvre ou sur les activités qu'ils sont supposés réaliser. Il s'avère que des changements sociaux, sociaux et économiques modifient la population des opérateurs. Les opérateurs mettant en œuvre les systèmes ne présentent pas les mêmes caractéristiques que les opérateurs définis dans les hypothèses.

C'est le cas d'un système de drone aérien conçu et mis en œuvre au Royaume-Uni. Kirke (2004, 2005) montre les conséquences de l'introduction de ce système au sein de l'armée anglaise qui se féminise. Lorsque le système de drone a été conçu, il n'y avait pas de femme dans le corps de l'Artillerie Royale, il a été conçu pour être opéré par des hommes, en s'appuyant sur les capacités et données anthropométriques masculines. Le système de drone comporte une partie au sol (*Ground Data Terminal*), lourde à manipuler et déployée à un kilomètre de la station de contrôle (*Ground Control Station*) par une équipe de deux personnes. Dans la mesure où de nombreuses femmes ne peuvent pas manipuler la partie au sol (GDT), ni mener les activités de récupération de la partie volante du système de drone, l'équipe qui réalise ces activités ne comprend que des hommes. Dans ce contexte, les femmes sont alors employées dans les activités moins pénibles de logistique et de contrôle (GCS). Cette situation n'a pas pu être anticipée lors de la conception du système. La répartition des activités entre femmes et hommes selon leurs capacités physiques ne correspond pas à la coutume militaire selon laquelle le personnel doit tourner et réaliser plusieurs tâches différentes, pour s'approprier le métier. De plus cette répartition des activités entre hommes et femmes compromet aussi l'éthique de partage du fardeau au sein de l'armée (Kirke, 2004 & 2005). Nous trouvons une situation très proche dans le cas du programme Rafale. Le problème réside dans le décalage entre le poids minimum des pilotes de combat féminins, qui n'étaient pas d'actualité au lancement du programme, et la masse minimum à l'éjection nécessaire (sensiblement supérieure) pour la bonne cinétique du siège éjectable.

La prise en compte de la surcharge pondérale en ergonomie concerne tant le poste de travail des personnes en situation de surcharge pondérale que le poste de travail des personnes soignant ces personnes. La conception des postes de travail dans les centres d'appel devient un enjeu en ergonomie pour prendre en compte la surcharge pondérale (Atlas Ergonomics, 2007). La surcharge pondérale a aussi des impacts sur la conception du mobilier (par exemple des chaises), des vêtements, des véhicules (Walter, 2012). Pour les soins des personnes en situation de surcharge pondérale, les difficultés rencontrées concernent aussi bien les personnes vivantes, avec la conception de dispositifs dédiés telles que les ambulances (Quémard, 2009), que les personnes décédées, les morgues devant être adaptées à ce sujet (*Health*

Business UK, 2010). Cette situation nouvelle, induite par l'épidémie de surcharge pondérale (*World Health Organization, 1998*) n'était pas envisagée, il y a 25 ans.

Dans la perspective de construire un réseau de transport en commun ferroviaire, élargissant l'offre actuelle, les études prospectives du projet Grand Paris ont montré que les usagers, en moyenne, dans 10-15 ans, seront plus âgés et souffriront de surcharge pondérale, réduisant leur mobilité. Cela a des impacts sur les accès des stations et des trains. Cela nécessite de systématiser les ascenseurs et les escaliers mécaniques, en double, afin qu'il y en ait toujours un en service lorsqu'un autre est en panne ou en maintenance (Chérel, 2012).

Les enjeux résident dans la capacité à envisager et à décrire l'environnement, au sens large, dans lequel seront opérés les systèmes durant leur stade d'exploitation, c'est-à-dire à horizon de 30 ou 50 ans, voire beaucoup plus, et les impacts que cela peut avoir sur les futurs utilisateurs en termes d'activité, de compétences, d'aptitudes attendues de leur part. Ils résident aussi dans la capacité à décrire les caractéristiques anthropométriques des futurs utilisateurs, leurs formations initiale et professionnelle, leurs aptitudes, etc. Enfin, les enjeux résident aussi dans la capacité offerte aux opérateurs d'ajuster et adapter les procédures et les artefacts technologiques pour répondre aux environnements et situations opérationnels qu'ils rencontreront, lesquels ne peuvent pas être décrits aujourd'hui.

III ÉTAT DE L'ART

Après avoir montré les enjeux de la conception de systèmes à longue durée de vie, nous développons dans l'état de l'art les parties consacrées à l'ergonomie prospective et aux nouveaux concepts de l'ergonomie, à la prospective, à l'ingénierie système pour mettre en évidence les limites de ces concepts dans la synthèse critique.

III.1 ERGONOMIE PROSPECTIVE ET NOUVEAUX CONCEPTS DE L'ERGONOMIE

La première étape de l'état de l'art présente la notion d'ergonomie prospective, ainsi que le persona et le processus d'appropriation, concepts dont nous justifierons l'emploi et que nous exploiterons dans notre proposition.

III.1.1 L'ergonomie prospective

Complétant l'ergonomie corrective et l'ergonomie préventive (de conception), l'ergonomie prospective (Robert & Brangier, 2009) est la partie de l'ergonomie qui a pour objectif d'anticiper les besoins et les activités des êtres humains dans le but de créer de nouveaux artefacts qui seront utiles et fourniront une expérience positive aux utilisateurs. Elle met en œuvre les concepts et méthodes classiques de la conception centrée sur l'utilisateur, en mettant l'accent sur l'investigation de l'usage d'artefacts pour découvrir leur force(s) et faiblesse(s), les sources de satisfaction et d'insatisfaction, qui peuvent mener à améliorer les artefacts et la conception d'artefacts nouveaux. C'est une approche interdisciplinaire mettant en œuvre les théories, modèles, méthodes et outils des sciences humaines et sociales pour anticiper

et définir les besoins et activités des êtres humains, sans prétendre être exhaustif : anthropologie, sociologie, ethnographie, psychologie, marketing sont impliqués.. Robert et Brangier (2009) comparant l'ergonomie prospective à l'ergonomie corrective et à l'ergonomie préventive sur un ensemble de dimensions. Nous compléterons cette structuration dans notre proposition en section IV.2 afin de prendre en compte les systèmes à longue durée de vie.

Représenter une situation nouvelle du monde réel à horizon de 20 ans est difficile, *a fortiori* quand l'horizon est encore plus lointain (Nelson, Buisine & Aoussat, 2012). La conception de scénario d'usage aide à anticiper l'usage futur de nouveaux produits et services en prenant en compte l'acceptation de ces nouveaux produits et services, ainsi que leur appropriation. Mais la portée de cette anticipation est réduite et ne couvre pas les 50 ans, voire plus, de service actif.

L'ergonomie prospective peut se nourrir d'études de prospective, à l'instar de l'étude « Forces terrestres futures » menée par le Ministère français de la défense (Rapport FTF 2025, 2010). Cette étude esquisse le portrait type des personnels de l'Armée de terre à l'horizon 2025. Elle met en exergue les facteurs les plus dimensionnant en prenant en compte les évolutions possibles de l'environnement, en élaborant un scénario de référence et des ruptures possibles et en évaluant leurs impacts sur les ressources humaines.

La prospective ergonomique, appliquée aux systèmes à longue durée de vie, concerne des opérateurs qui, pour certains, ne sont pas encore nés lors des stades amont des programmes, lorsque l'on conçoit ces systèmes. Il s'avère difficile de les impliquer dans la conception de ces systèmes, ainsi que le préconisent les principes de conception centrée sur l'humain. Mais il ne faut pas pour autant les écarter, les ignorer. Le persona, en tant que représentation abstraite, fictive, d'un utilisateur ou d'une classe d'utilisateurs, s'avère être pertinent pour les prendre en compte. Le persona peut être enrichi de données prospectives.

III.1.2 *Le persona*

Le *persona* est la représentation fictive et simplifiée d'un utilisateur ou d'une classe d'utilisateurs du futur système. Dans la mesure où plusieurs utilisateurs ou classes d'utilisateurs ont des liens, à un titre ou à un autre, avec le système, il y a autant de *persona* différents qu'il y a d'utilisateurs ou de classes d'utilisateurs différents. Le *persona* synthétise les traits dimensionnant et structurant des objectifs, des comportements et des caractéristiques des utilisateurs, complétant les méthodes de l'ergonomie de l'IHM (interaction humain-machine) et les formalismes existants (Pruitt & Adlin, 2006 ; Brangier, Bornet, Bastien, Michel, & Vivian, 2012 ; Bornet & Brangier, 2013).

Cahour et Lancry (2011) ainsi que Karsenty (2011) montrent que de nombreux travaux se caractérisent par : (i) l'absence de prise en compte des dimensions organisationnelles, sociales et émotionnelles ayant des impacts sur les activités des opérateurs, les performances et la sécurité ; (ii) l'absence de prise en compte des interactions entre l'activité professionnelle et l'activité domestique, en particulier

avec l'usage des dispositifs des technologies de l'information et des communications qui leur sont communs ; (iii) l'absence de prise en compte des aspects sociaux ayant des impacts sur les activités des opérateurs. Cette situation génère des difficultés. Ces méthodes et outils sont incomplets pour la spécification et la conception de systèmes à longue durée de vie puisqu'ils ne prennent pas en compte les interactions entre les futurs utilisateurs et les futurs dispositifs ainsi que l'usage que ces futurs en font.

Le *persona* est conforme aux principes et critères de conception centrée sur l'humain (ISO 16982, 2002 ; ISO 9241-210, 2010). Il peut être élaboré à partir de données d'enquêtes, d'entretiens, d'observations, d'analyse de l'activité et d'analyse des traces, entre autres. Il peut être complété par les résultats de rapports d'enquêtes techniques faisant suite à des accidents (Ruault, Vanderhaegen & Luzeaux, 2012). Enfin, il peut être enrichi de données prospectives, en particulier lorsque le système est nouveau ou présente une longue durée de vie, ce qui fait que les futurs utilisateurs peuvent être différents des utilisateurs actuels. Dans les cas où l'âge du départ à la retraite est retardé, le *persona* permet de représenter un utilisateur âgé dans une situation de travail. Le *persona* complète les modèles des utilisateurs, avec des informations sur les attitudes, l'intimité (Broadbent, 2011), sur la confiance envers autrui (Karsenty, 2011). Les différentes caractéristiques qui peuvent être intégrées dans un *persona* sont décrites dans (Brangier & Borne, 2011 ; Idoughi, Kolski & Seffah, 2010 ; Idoughi, Seffah & Kolski, 2012 ; Pruitt & Adlin, 2006 ; Seffah, Kolski & Idoughi, 2009 ; Ruault *et al.*, 2012).

Cette première analyse nous permet de montrer que les caractéristiques du *persona* complètent les principales caractéristiques de l'utilisateur ou de l'opérateur des autres démarches d'ergonomie. Des dimensions telles que des relations sociales extra-professionnelles, des relations de séduction peuvent influencer l'activité des opérateurs (Helmreich & Merritt, 1998 ; Rosnet, Jurion, Cazes & Bachelard, 2004 ; Ruault *et al.*, 2012).

III.1.3 Le processus d'appropriation

Au fil du temps, de nouvelles technologies apparaissent, que les opérateurs s'approprient ou pas. Elles peuvent perturber l'activité des opérateurs en générant des doubles tâches entravant l'activité (Ruault *et al.*, 2012 ; NTSB, 2010), mais aussi peuvent contribuer à améliorer les performances et la sécurité en accroissant la conscience partagée de la situation et en réduisant les délais d'intervention lors de situation de crise (Luzeaux, Ruault, & Wippler 2011).

Les utilisateurs peuvent détourner de leurs fonctions initiales les dispositifs qu'ils utilisent à un autre usage (ce qui constitue alors une catachrèse). C'est ainsi que le système message de service (SMS) dans le domaine des télécommunications a été détourné de sa fonction initiale (message d'information de l'opérateur téléphonique à ses clients) pour devenir un mode de communication complémentaire à la voix entre les clients des différents opérateurs téléphoniques et une ressource financière importante pour ces opérateurs dans la mesure où le coût d'acheminement des SMS

est très réduit pour ces opérateurs. En effet, les SMS sont transportés par les canaux de signalisation sans consommer la bande passante allouée à la voix.

Fidock & Carroll, & Rynne (2008) montrent comment l'usage et la technologie interagissent en tenant compte des contingences du contexte opérationnel et évoluent en fonction de ces interactions. Les caractéristiques de la technologie ne sont pas stables mais dépendent de la pratique. De plus, la technologie n'est pas nécessairement utilisée selon les intentions de son concepteur.

La technologie telle que conçue (*technology-as-design*) fait référence aux artefacts technologiques qui sont fournis aux utilisateurs. Ils sont conçus à partir du modèle implicite ou explicite que le concepteur se fait des utilisateurs et de l'utilisation qu'ils sont supposés avoir de ces artefacts. Ces artefacts comprennent des règles sur la façon de mener les activités, des ressources qui doivent être utilisées, des compétences que les opérateurs sont supposés maîtriser, des caractéristiques que les opérateurs sont supposés avoir. Ces artefacts offrent un ensemble de possibilités d'usage aux utilisateurs.

L'évaluation *a priori* fait référence aux attentes positives ou négatives des utilisateurs quant aux fonctionnalités de ces artefacts, à leur facilité d'usage, ou à d'autres critères tels qu'esthétiques ou de mode, avant même qu'ils puissent les tester. Cette évaluation *a priori* peut déboucher sur le choix de ne pas adopter ces artefacts, ou de les essayer et de les utiliser. La non adoption n'est pas définitive puisque de nouvelles informations peuvent amener les utilisateurs à réviser leur position et à faire une nouvelle évaluation *a priori*.

Le processus d'appropriation décrit la découverte en mode interactif et itératif de ces artefacts par les utilisateurs. Les utilisateurs apprennent à utiliser ces artefacts, adaptent leur pratique à ces artefacts et les artefacts à leur pratique. Le résultat de ce processus d'appropriation peut être l'appropriation vers un usage routinier, ou en revanche, le rejet, l'abandon de ces artefacts.

L'appropriation décrit la transition entre le processus d'appropriation et l'usage routinier des artefacts technologiques. Le rejet décrit la situation dans laquelle les utilisateurs cessent d'utiliser ces artefacts. Cela peut advenir précocement ou tardivement y compris pour des artefacts technologiques qui sont utilisés de façon routinière, par exemple quand de nouvelles technologies répondent mieux au besoin (le remplacement de la photographie argentique par la photographie numérique).

L'usage routinier de la technologie (*technology-in-use*) décrit la manière dont les utilisateurs utilisent de façon routinière les artefacts technologiques stabilisés. L'absence de renforcement ou une réévaluation de l'usage pour différentes raisons amène à rejeter les artefacts technologiques. Certaines technologies restent stables durant de longues périodes, tandis que d'autres sont amenées à évoluer, avec un retour au processus d'appropriation.

La conception *par* l'appropriation désigne le retour d'expérience de l'usage routinier vers le processus de conception, afin que cette dernière prenne en compte l'usage réel. La conception *pour* l'appropriation désigne la prise en compte de l'appropriation dès les étapes de spécification et de conception afin que la solution conçue soit adaptée au processus d'appropriation, c'est-à-dire que les utilisateurs

puissent l'adapter, la faire évoluer, afin de l'utiliser de façon routinière. Dans le contexte des systèmes à longue durée de vie, mis en œuvre dans des environnements complexes et dynamiques évoluant rapidement, les utilisateurs sont amenés à adapter la technologie en permanence (Bachatène, Garnier, & Ruault, 2008).

III.2 PROSPECTIVE ET RÉTROSPECTIVE

L'ergonomie prospective s'inscrit au sein de la prospective. L'analyse rétrospective des rapports de prospective publiés il y a plusieurs décennies offre un retour d'expérience qui permet d'en évaluer la portée et les limites.

III.2.1 *La prospective*

La prospective (Brangier et Robert, 2014) est une démarche continue et itérative basée sur la veille pour prendre en compte les tendances lourdes d'évolution de la société, dépendantes de ses structures profondes (par exemple baby boom démographique dont les effets s'inscrivent sur plus de 80 ans). La prospective repose, d'une part, sur la continuité, c'est-à-dire sur l'inertie des systèmes en gommant les rugosités conjoncturelles pour accéder à la dynamique profonde du système, d'autre part sur la discontinuité, c'est-à-dire sur des ruptures, des effets de seuil et des aléas, tels que des guerres ou des catastrophes naturelles (Julien et al., 1975 ; Moati, 2003 ; Valaskakis, 1975). La prospective est menée sur un modèle simplifié de la réalité, appréhendée *via* un ensemble d'indicateurs déterminés en fonction du domaine à étudier. Une première approche consiste en une quête d'invariants à partir de données statistiques de ce domaine pour mener une extrapolation afin d'élaborer des futurs possibles (Julien, Lamonde, & Latouche, 1975 ; Moati, 2003 ; Valaskakis, 1975). Des simulations permettent de montrer les évolutions des variables significatives (démographiques, économiques, sociétales...) sur plusieurs horizons temporels, par exemple, 10 ans, 20 ans et 30 ans. L'évolution passée mesurée à partir de statistiques permet d'évaluer l'évolution tendancielle dans un scénario de référence et des inflexions de cette évolution tendancielle dans des scénarios de rupture. Ces simulations représentent les interactions entre les variables du système, indépendamment du contexte en faisant l'hypothèse que le système n'est pas perturbé par une variable qui n'aurait pas été identifiée (Moati, 2003). Ces activités de prospective sont réalisées régulièrement par des structures nationales ou internationales dédiées.

L'évaluation de la pertinence et des limites de la prospective est menée quelques décennies plus tard, en comparant les scénarios de la prospective et ce qui s'est réellement réalisé. C'est l'objet de la rétrospective sur la prospective.

III.2.2 *La rétrospective sur la prospective*

L'analyse rétrospective de la prospective offre un retour d'expérience des analyses prospectives menées il y a quelques décennies et permet de comparer ces analyses par rapport à ce qui s'est réellement passé. Plusieurs documents (Colson &

Cusset, 2008 ; Plassard, 2003) effectuent des analyses rétrospectives du rapport « Réflexions pour 1985 », publié en 1964 en vue de l'élaboration du Ve Plan de développement économique et social (1966-1970), en France.

La comparaison de Plassard (2003) entre les données de ce rapport et les données réelles montre de très bonnes anticipations dans les domaines de l'agriculture, du textile et des transports, de bonnes anticipations dans les domaines de l'énergie, des industries agro-alimentaires et de la distribution, et de mauvaises anticipations dans les domaines du bâtiment, de la chimie, de la métallurgie et de l'automobile. Le rapport a ainsi mis en évidence les tendances lourdes qui ont été bien anticipées et qui procèdent de l'inertie du système. En revanche, il n'y a pas eu d'anticipation de retournements de situations et de ruptures. Plassard (2003) élabore la liste des éléments qui ont contribué à structurer la société et l'économie françaises durant les dernières décennies sans avoir été anticipés. Parmi ces éléments, le travail des femmes, avec les impacts sur la population active et le taux de chômage, la rupture de l'emploi industriel en faveur de l'emploi de service, le développement de l'informatique, ont d'importantes conséquences en termes d'ergonomie.

Cela s'explique en partie par l'hypothèse selon laquelle le monde extérieur resterait relativement stable, sans guerre, sans catastrophe naturelle de grande ampleur. Ni le choc pétrolier, ni la chute du mur de Berlin n'ont été anticipés. L'analyse prospective est toujours faite en fonction de croyances, de technologies recensées à un moment donné, pour élaborer des scénarios tendanciels et des scénarios de rupture. Elle prend en compte uniquement des ruptures envisageables et non des ruptures inimaginables, qu'elles soient politiques, économiques, sociétales, démographiques ou technologiques. Les ingénieurs qui ont construit le site de Biopreparat (centre de production d'agents bactériologiques) sur l'île de Vozpojdiénié en 1948 (Courrier international, 2001) n'envisageaient pas le scénario de rupture de la fin de l'URSS. Si l'analyse prospective est structurante pour élaborer les fondations des systèmes sociotechniques futurs, il reste malgré tout une part non négligeable d'impondérables, d'aléas.

III.3 L'INGÉNIERIE DES SYSTÈMES ARTIFICIELS

Les systèmes artificiels, conçus par les humains, à longue durée de vie doivent être spécifiés, conçus, réalisés, qualifiés, déployés, maintenus. L'ingénierie système décrit et formalise ces processus et activités auxquels contribuent les ergonomes.

La norme consacrée au cycle de vie des systèmes (ISO 15288, 2008) décrit un système comme « un ensemble d'éléments en interaction, organisés pour atteindre un ou plusieurs résultats déclarés ». En ingénierie système, la définition du système comporte :

- celle de ses sous-systèmes et constituants (matériels, logiciels, organisations et compétences humaines) et celle de leurs interfaces, sièges des interactions recherchées ;

- celles des processus de leurs cycles de vie permettant de les concevoir, produire, vérifier, distribuer, déployer, exploiter, maintenir en condition opérationnelle et retirer du service, et donc des produits contributeurs nécessaires à ces processus ».

Les principales phases du cycle de vie d'un système sont l'analyse de concepts, l'étude de faisabilité, le développement, la réalisation, la mise en service, l'utilisation et le retrait de service (Luzeaux & Ruault, 2013). Les différents processus mis en œuvre durant ces phases relèvent pour certains d'entre eux des rôles et responsabilités du maître d'ouvrage, tandis que d'autres relèvent du maître d'œuvre. L'expression du besoin, la définition des situations opérationnelles, le retour d'expérience relèvent de la responsabilité du client. Le maître d'œuvre est en charge de l'architecture du système ainsi que le maintien de sa cohérence tout au long de la vie du système.

Dans un premier temps, l'ingénierie système s'est focalisée sur les phases amont, et peu sur les phases aval d'exploitation. Les activités de refonte à mi-vie sont peu formalisées dans les documents de référence (ISO 15288, 2008). Les démarches linéaires sont progressivement complétées par des démarches itératives et incrémentales (Luzeaux & Ruault, 2013), prenant de plus en plus en compte le retour d'expérience.

Les technologies utilisées en début du cycle de vie deviennent obsolètes et sont remplacées par de nouvelles technologies. Cette situation est maîtrisée grâce d'une part, à la gestion des obsolescences, d'autre part, à l'activité de prospective sur les technologies, par exemple Technologies clés 2010, et à la veille sur la maturité des technologies. Malgré tout, des ruptures peuvent advenir, avec l'émergence au sein d'un domaine d'une technologie provenant d'un autre domaine. Ce transfert d'un domaine à un autre est une zone aveugle du processus de veille. Le développement de la photographie numérique a sonné le glas de la photographie argentique. Le système technique est spécifié à partir de la définition d'une situation opérationnelle de référence, laquelle est élaborée dans un environnement opérationnel supposé stable (Ruault et al., 2012). Cette situation opérationnelle est décrite et modélisée sous forme de scénarios opérationnels à partir desquels sont définies les fonctions à réaliser, en termes de services rendus par l'artefact technologique et de tâches menées par les opérateurs humains. Cela permet, d'une part de spécifier et de concevoir l'artefact technologique, et d'autre part de définir les profils des opérateurs, les compétences qu'ils doivent acquérir *via* des formations adaptées pour réaliser ces tâches. Ces activités sont menées de concert avec les ergonomes. Cette démarche est adaptée aux systèmes pour lesquels le contexte et l'environnement opérationnels ainsi que les missions à réaliser sont connus et les performances stables. Elle connaît ses limites dès lors que l'environnement et les missions ne sont pas complètement connus et les performances fluctuantes.

L'ingénierie système évolue en mettant en œuvre une démarche de développement de concept et d'expérimentation (CD&E pour *concept development and experimentation*) itérative, incrémentale et participative. Cette démarche agile fait participer tous les utilisateurs du futur système pour évaluer avec eux les solutions de conception alternatives et mûrir la solution la plus adaptée.

III.4 SYNTHÈSE CRITIQUE

En synthèse de l'état de l'art, les points suivants orienteront notre proposition :

- Les méthodes et outils des différentes disciplines ne semblent pas prendre en compte les évolutions de l'environnement et des opérateurs sur une longue période, lesquels sont supposés être stables ;
- Il ne peut y avoir d'opérateurs représentatifs pour l'ensemble du cycle de vie des systèmes à longue durée de vie ;
- Dans la même perspective, il n'est pas possible de décrire les activités futures probables à échéance 20, 30 ou 50 ans ;
- Malgré les esquisses de démarche inter pluridisciplinaire ou multidisciplinaire, il y a peu d'interactions entre disciplines et une absence de modèle commun, ce qui se traduit par une absence de prise en compte du processus d'appropriation par les sciences de l'ingénieur, dont l'ingénierie système.

L'objectif de notre proposition est de dépasser ces limites afin d'adapter ces concepts, méthodes et outils aux systèmes à longue durée de vie.

IV PROPOSITION : CONTRIBUTION DE L'ERGONOMIE POUR LES SYSTÈMES À LONGUE DURÉE DE VIE

Notre proposition consiste à adapter les concepts, méthodes et outils, de l'ergonomie prospective et de l'ingénierie système afin que les systèmes conçus soient opérationnels pendant 50 ans, s'adaptant dans la mesure du possible à des situations inconnues et inimaginables lors de la conception desdits systèmes.

IV.1 DESCRIPTION GLOBALE DE LA DÉMARCHE

La démarche globale consiste à tisser les liens entre les différents concepts présentés dans l'état de l'art, de les organiser entre eux afin de les appliquer à la conception des systèmes à longue durée de vie. *In fine*, l'objectif est que ces systèmes mènent à bien les missions qui leur seront confiées, dans des environnements opérationnels qui ne peuvent pas être décrits de façon claire, précise et systématique, comme le préconisent les bonnes pratiques de l'ingénierie système. Ces systèmes devront s'adapter à des situations qui sont inconnues et inimaginables lors de leur conception. Nous nous inscrivons dans une démarche de conception itérative sur le long terme s'appuyant sur le retour d'expérience de l'usage routinier et sur les résultats de la veille pour adapter le système aux environnements et situations opérationnels qui ne pouvaient être envisagés lors de la conception initiale.

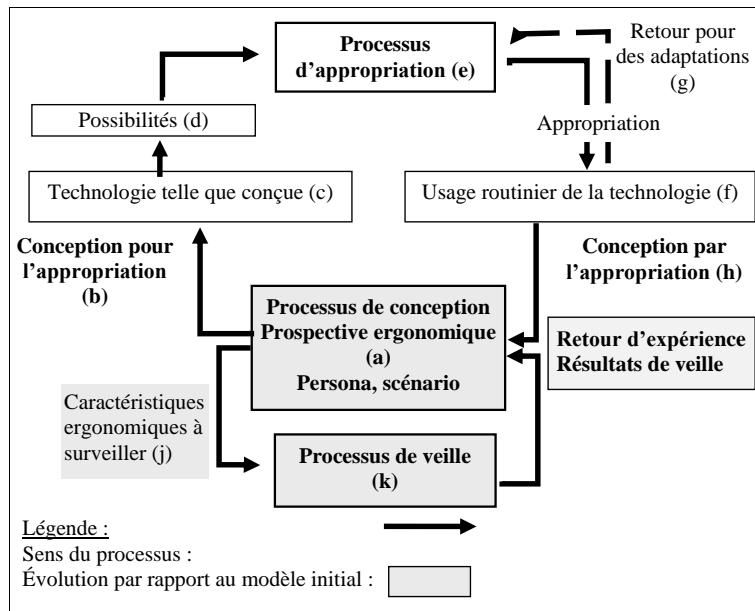


Figure 1 : Proposition d'évolution des processus d'appropriation et de conception, complétant Fidock, Carroll & Rynne (2008).

Figure 1 : *Proposal of evolution of the appropriation and design processes, completing Fidock, Carroll & Rynne (2008).*

Cette démarche de conception itérative est à la fois et de façon complémentaire proactive et réactive (Boy, 2012). Pour disposer d'une cohérence globale, cette démarche s'appuie sur une logique d'organisation et de planification. Afin de ne pas hypothéquer les activités et technologies futures, et de réagir face à des aléas et à des événements sans précédent, cette démarche conserve une logique d'ouverture et d'adaptabilité. Cette démarche propose les moyens d'apprendre en marchant, cet apprentissage permettant d'anticiper avec un bon niveau de confiance.

Dans la figure 1, nous montrons que : (a) le processus de conception évolue pour intégrer la prospective ergonomique et devenir itératif afin d'être mis en œuvre à rythme régulier tout au long du cycle de vie des systèmes dans une logique de conception pour l'appropriation (b). La technologie ainsi conçue (c) offre un ensemble de possibilités (d) afin que les opérateurs puissent l'évaluer et l'adapter dans le processus d'appropriation (e), en fonction des environnements et situations opérationnels qu'ils rencontrent dans leurs missions, et pour en faire un usage routinier (f). Les évolutions de l'environnement au fil du temps obligent à retourner vers le processus d'appropriation pour ajuster, adapter, les artefacts technologiques et les pratiques (g).

La conception par l'appropriation (h) recueille les informations de retour d'expérience de l'activité routinière et des adaptations réalisées, qui, complétées des résultats de la veille, amènent à la révision des exigences (i). Le processus de veille (k), en parallèle au processus d'appropriation (e), surveille comment les caractéristiques ergonomiques (j) évoluent au cours du temps.

Nous commençons en complétant l'ergonomie prospective des adaptations nécessaires pour les systèmes à longue durée de vie et en appliquant les concepts et les méthodes de la prospective ainsi qu'en préconisant d'élaborer des scénarios pour la durée de vie des systèmes en mettant en œuvre le concept de persona.

Nous poursuivons en faisant évoluer le processus d'appropriation pour prendre en compte la veille et le retour d'expérience. Nous finissons en développant les notions de conception pour l'appropriation et de conception par l'appropriation.

IV.2 ÉVOLUTION DE L'ERGONOMIE PROSPECTIVE

La première étape de la démarche consiste à compléter le modèle de l'ergonomie prospective (Robert & Brangier, 2009, Brangier & Robert, 2014), en l'adaptant aux systèmes à longue durée de vie. Comme précisé ci-dessus, la temporalité propre de ces systèmes s'inscrit dans le futur lointain, avec plusieurs horizons temporels intermédiaires, par exemple, 10, 20 et 30 ans. Les systèmes auxquels nous nous intéressons ne sont pas des produits de grande consommation, mais des systèmes complexes tels que des réseaux de transports ferroviaires, comprenant les infrastructures, le matériel roulant, les procédures d'exploitation, etc. Les organismes en charge d'exploiter ces systèmes sont les clients qui formulent leur besoin auprès de fournisseurs, des bureaux d'ingénierie et des cabinets d'ergonomie. Le point de départ est alors une demande du client. Une caractéristique majeure de ces systèmes réside dans l'absence d'utilisateurs représentatifs aux différents horizons temporels envisagés. En effet, pour les horizons temporels les plus éloignés de la conception, les utilisateurs ne sont pas encore nés. Il est donc matériellement impossible d'effectuer des études d'ergonomie avec eux.

En nous appuyant sur la figure 1, nous considérons que la nature de l'activité de l'ergonome relève d'une part de la veille (k) et de la prospective (a) et d'autre part, de la mise en place des dispositions permettant le processus d'appropriation par les futurs utilisateurs (e) pendant toute la durée du stade d'exploitation opérationnelle desdits systèmes.

Le premier point focal de l'activité de l'ergonome relève de l'activité de prospective (a). Il identifie les variables significatives, du point de vue de l'ergonomie (activités, compétences, attitudes ...), mesure les évolutions récentes de ces variables et réalise des simulations pour évaluer comment ces variables vont évoluer dans le futur. Les résultats de ces simulations sont injectés dans les personas. Ces personas servent à élaborer les scénarios tendanciels et les scénarios de rupture et, *in fine*, spécifier le futur système ou une future version d'un système existant. Le second point focal relève de l'activité de veille (k). L'ergonome met en place les moyens et dispositifs de veille sur ces variables significatives. Les résultats de cette veille, les tendances qui s'en dégagent, les ruptures qui se produisent sont comparés aux hypothèses de prospectives initiales et aux simulations. Les tendances constatées alimentent la mise à jour des modèles, des personas et des simulations, bases de l'étape suivante de prospective pour faire évoluer les scénarios tendanciels et de rupture. Les nouvelles versions de ces scénarios sont les données d'entrée des activités de mise à niveau et

de refonte à mi-vie des systèmes. L'autre point focal de l'activité de l'ergonome concerne l'élaboration des moyens permettant le processus d'appropriation, décrits ci-dessous (c). Aux disciplines identifiées par Robert & Brangier (2009), nous ajoutons l'ingénierie système pour articuler les activités de l'ergonomie et celles de l'ingénierie système (Ruault, 2004, ASD-STAN, 2013). Les sources des données sont, d'une part, le retour d'expérience des situations opérationnelles et des usages, et d'autre part, les résultats de la veille sur les dimensions à prendre en compte, sociétale, démographique, anthropométrique, entre autres. Au sein des équipes de projet, le statut des facteurs humains contribue à une démarche interdisciplinaire sur l'ensemble du cycle de vie des systèmes. L'intervention de l'ergonome s'inscrit donc sur cette durée afin de prendre en compte la dynamique des opérateurs dans les évolutions, les mises à niveau et refontes à mi-vie des systèmes.

Tableau 1. Complément au modèle de l'ergonomie prospective de Robert et Brangier (2009)
adapté aux systèmes à longue durée de vie.

*Table 1. Addition to the model of Prospective ergonomics of Robert and Brangier (2009)
adapted to long life systems.*

Ergonomie prospective	
Temporalité	Futur lointain, avec plusieurs horizons temporels
Nature de l'activité de l'ergonome	Prospective, veille et mise en place des dispositions permettant le processus d'appropriation par les futurs utilisateurs
Point de départ	Demande du client
Point focal	Démarche prospective et de veille sur les variables significatives Élaboration des personas à partir des résultats de simulations Élaboration des moyens permettant le processus d'appropriation
Échantillon des utilisateurs	Absence d'utilisateurs représentatifs à l'horizon temporel de la prospective
Disciplines associées	Les mêmes que Robert & Brangier (2009), plus : démographie, prospective, veille, ingénierie système
Sources des données	Retour d'expérience des situations opérationnelles et des usages Veille (sociétale, anthropométrique, démographique ...)
Statut des facteurs humains	Contribution à une démarche interdisciplinaire
Nature de l'intervention	Prise en compte de la dynamique des opérateurs dans les évolutions, mises à niveau et refont à mi-vie des systèmes
Production	Définition des variables significatives et les caractéristiques ergonomiques objets de l'activité de veille Simulations à partir de ces variables significatives Définition des informations que les dispositifs du retour d'expérience doivent recueillir Définition des moyens d'adaptation et d'appropriation Création d'un socle d'artefacts permettant la mise en œuvre de la conception pour l'appropriation.

La production de cette intervention comprend, entre autres, la définition des variables significatives et des caractéristiques ergonomiques (j) objets de l'activité de veille (k), la définition des personas, les simulations à partir de ces variables significatives, la définition des informations que les dispositifs du retour d'expérience (h) doivent recueillir, la définition des moyens d'adaptation et d'appropriation. Ces derniers se déclinent en un socle d'artefacts modulaires, ajustables et malléables

permettant la mise en œuvre de la conception pour l'appropriation (b). Dans une logique de conception par l'appropriation (h), le recueil de l'usage routinier des technologies (f) s'appuie sur des dispositifs de capitalisation, de retour d'expérience des situations opérationnelles et des usages, qui sont introduits dans le système.

IV.3 SCÉNARIOS POUR LA DURÉE DE VIE DES SYSTÈMES

La seconde étape de la démarche fait appel aux scénarios. Cette méthode présente tant en interaction humain-machine (Rosson & Carroll, 2002), en ingénierie système qu'en prospective permet de modéliser la structure et la dynamique probable d'un système dans un environnement particulier. L'objectif est de compléter les scénarios développés en interaction humain-machine et en ingénierie système d'une démarche prospective pour élaborer les scénarios tendanciels et les scénarios de rupture couvrant l'espace des possibles.

Dans la mesure où il n'y a pas d'opérateur représentatif aux horizons temporels pour lesquels les scénarios sont élaborés, nous préconisons l'utilisation des personas pour exprimer et représenter des opérateurs ou des classes d'opérateurs. En effet, comme représentations fictives et archétypiques, ces personas cristallisent les caractéristiques ergonomiques à prendre en compte (physiques, cognitives, émotionnelles, sociales...) en s'appuyant sur les résultats des études de prospective qui sont menées à l'instar du rapport FTF 2025 (2010). Nous pouvons ainsi décrire le *persona* Patrick DAVIDSON (Ruault et al., 2012) dans sa future activité de conduite de train d'ici 20 ans, en utilisant les artefacts technologiques n'existant pas encore, mais qui sont imaginés dans des études prospectives sur les technologies du futur. Nous pouvons élaborer un scénario dans lequel Patrick DAVIDSON est âgé, mais doit continuer à travailler parce que la caisse de retraite n'a pas suffisamment d'argent pour payer sa pension. Nous pouvons envisager que les acteurs économiques ont développé des solutions technologiques adaptées aux seniors qui continuent de travailler. Sachant que les postes opérateurs peuvent être tenus aussi bien par des seniors que des personnes plus jeunes, les dispositifs doivent être configurables afin d'être adaptés aux opérateurs, jeunes ou âgés, qui tiennent le poste, à tour de rôle. Pour l'aider dans son activité, Patrick DAVIDSON dispose d'une IHM présentant l'état du réseau et, en incrustation de réalité virtuelle, une représentation des trains du réseau, en particulier ceux qui sont devant et derrière le train, sans qu'il y ait inter-visibilité.

Dans le cadre des travaux consacrés au Grand Paris (Chérel, 2012), des scénarios d'usage sont élaborés. Les usagers des transports, exploitant les ressources des technologies de l'information et des communications, recalculent leur itinéraire en fonction des perturbations de trafic. Cette situation, au niveau individuel, doit être analysée globalement pour envisager dynamiquement les impacts sur la charge des itinéraires alternatifs et gérer cette surcharge pour maintenir un trafic régulier, malgré les perturbations locales.

La réalisation de scénarios prospectifs, en faisant appel à ces personas dans des simulations et des expérimentations, doit permettre d'évaluer les conséquences des

évolutions des caractéristiques des opérateurs, par exemple la surcharge pondérale, ainsi que les évolutions de l'environnement technologique, économique et social sur plusieurs horizons temporels. En effet, ces dernières peuvent avoir des impacts sur la formation (réduction de budget, du temps de formation), sur le recrutement (marché du travail, orientations sociétales) sur les compétences générales (compétences de lecture et d'écriture, nouveaux médias et nouvelles façons de s'exprimer ...) ou bien encore la légalisation du mariage pour les personnes de même sexe avec les impacts sur les systèmes d'information, les ressources humaines des entreprises, les allocations, etc.

Dans ce contexte, les personas peuvent être décrits dans les scénarios de façon diachronique pour montrer leur évolution entre plusieurs horizons temporels, par exemple en modélisant la prise de poids ou encore l'apparition de problèmes visuels sur le long terme, et de façon synchronique pour décrire une activité qui se déroule à un horizon temporel donné. Au fil des itérations, les personas et les scénarios sont révisés en tenant compte des résultats de la veille et du retour d'expérience. Ils sont alors rejoués dans des simulations et des expérimentations pour analyser les impacts de ces évolutions sur l'architecture du système, lequel peut être modifié pour intégrer ces évolutions. Ce sont les entrées des processus d'ingénierie menés pour les grandes visites et les programmes de refonte à mi-vie.

IV.4 DÉMARCHE ITÉRATIVE, INCRÉMENTALE ET PARTICIPATIVE

La conception pour l'appropriation et par l'appropriation s'inscrit dans une démarche itérative, incrémentale et participative qui articule l'ingénierie système (ISO 15288, 2008) et les principes de conception centrée sur l'opérateur humain (ISO 9241-210, 2010). Le développement de concept, les expérimentations et le retour d'expérience enrichissent étape après étape la définition du système en permettant l'appropriation des dispositifs par les opérateurs.

IV.5 CONCEVOIR POUR L'APPROPRIATION

La conception pour l'appropriation (b) offre aux opérateurs un ensemble de possibilités (d) pour ajuster, adapter les artefacts technologiques à leur besoin, au fil de l'eau, dans une navigation à vue. Elle se décline, d'une part, dans une architecture modulaire, ouverte, ajustable, malléable et évolutive, d'autre part, dans l'insertion, au sein du système, de capteurs pour recueillir les informations sur les environnements et situations opérationnels rencontrés.

Cette architecture permet aux opérateurs d'ajouter de nouveaux artefacts, de nouveaux services, de les organiser entre eux, en termes logiques et temporels, pour réaliser les missions qui leur sont confiées. Une telle architecture s'appuie sur une composition des services et une structure des préoccupations (architecture orientée *aspect*) permettant cette composition (Lewandowski et al., 2007). Par ailleurs, dans une démarche de conception itérative, l'architecture initiale doit être ouverte et propre à évoluer par ajout et par retrait de fonctions et de composants. Cette architecture permet une adaptation *hic et nunc* au contexte rencontré. Elle est en quelque sorte

locale et conjoncturelle. L'insertion de capteurs permet de recueillir l'usage du système, dans les conditions réelles des environnements et situations opérationnels rencontrés, ainsi que de la variabilité des performances réalisées. Les systèmes de suivi de l'usage (HUMS pour *Health and Usage Monitoring Systems*) ont été élaborés pour suivre l'usage et la fatigue des aéronefs (Maley et al., 2007 ; Wiig, 2006) et sont aussi utilisés dans un large éventail d'applications (Halfpenny, 2005). Initialement développés pour mesurer des données telles que les vibrations ou la température, les capteurs peuvent mesurer des informations relatives à l'appropriation et à l'usage, telles que les services ajoutés, les fonctions utilisées et leur durée d'utilisation, les performances réalisées, leur variabilité, les défaillances et les pannes rencontrées. Les capteurs peuvent aussi recueillir les informations sur l'organisation des artefacts technologiques employés, lesquels, dans quel ordre, selon quel mode opératoire. En complément des méthodes de recueil de données des sciences humaines (ISO 16982, 2002 ; ISO 9241-210, 2010), ces informations sont une des sources du retour d'expérience sur l'appropriation et l'usage routinier.

IV.6 CONCEVOIR PAR L'APPROPRIATION

En vis-à-vis de la conception pour l'appropriation, dans laquelle le système est architecturé et instrumenté pour favoriser l'appropriation et le recueil d'informations sur cette appropriation, la conception par l'appropriation consiste à s'appuyer sur ces informations pour que la conception prenne en compte l'usage réel. Il s'agit là des grandes révisions et des programmes de refonte à mi-vie. Nous sommes dans une démarche itérative se poursuivant tout au long du cycle de vie du système. Dans ce contexte, la façon dont les opérateurs adaptent, *hic et nunc*, les artefacts technologiques, les agencent entre eux pour réaliser leurs activités, le détournement fonctionnel qu'ils font de tel ou tel artefact, sont autant d'éléments qui orientent les nouvelles itérations de conception. L'usage routinier d'une technologie se caractérise par une forte intégration entre pratique et artefact qu'il faut prendre en compte dans les évolutions d'architecture lors d'itérations successives, pour ne pas rompre des routines, sources de performance. Ce retour d'expérience permet de généraliser les adaptations *hic et nunc* au sein de l'organisation, et d'inscrire ces adaptations au sein même de la structure de l'organisation et du système technologique.

IV.7 ACTIVITÉ DE VEILLE ET DE RETOUR D'EXPÉRIENCE

L'analyse des risques, la simulation de scénarios tendanciels et de rupture et les valeurs seuil générant telle ou telle trajectoire, permettent d'identifier les caractéristiques ergonomiques les plus susceptibles d'évoluer et dont l'évolution présente d'importantes conséquences. Ces caractéristiques ergonomiques doivent faire l'objet du retour d'expérience ainsi que d'une veille afin d'évaluer régulièrement leur évolution.

Le retour d'expérience consiste à capitaliser les différents environnements et situations opérationnels, le contexte d'usage réel, le déroulement du processus d'appropriation, les usages routiniers et les adaptations effectuées tant sur dans les

activités que sur l’artefact technologique. On recueille les performances réalisées, leur variabilité, et les écarts par rapport à la tolérance envisagée. Ces informations sont fournies, d’une part par les méthodes de recueil d’information de l’ergonomie, que sont l’analyse de l’activité, d’enquête, l’analyse des traces, etc. (ISO 16982, 2002 ; ISO 9241-210, 2010), et d’autre part par les données recueillies *via* les capteurs insérés dans le système, décrits en §IV.5. Lorsque des valeurs seuil sont détectées par le retour d’expérience (par exemple, nouveaux environnements opérationnels détectés) ou par l’activité de veille (par exemple, évolution des caractéristiques de la population), les scénarios sont rejoués en prenant en compte des valeurs réelles mesurées par le retour d’expérience pour évaluer les conséquences immédiates et à moyen terme des évolutions. Les résultats de ces scénarios sont utilisés pour envisager les impacts sur les hypothèses et la conception et orienter les évolutions des procédures ou du système. La difficulté réside dans la détermination des valeurs seuil. En effet, il est nécessaire de différencier *a priori*, d’une part les écarts minimes entre l’hypothèse et la situation réelle, écart liés à des ajustements conjoncturels, normaux, et d’autre part les écarts significatifs montrant un changement structurel, radical, une tendance longue. La veille consiste à obtenir des informations sur les évolutions que connaissent les opérateurs ou qui affecteront les opérateurs à terme. Ces évolutions procèdent tant des aspects réglementaires et juridiques (âge du départ à la retraite), que des modes de vie (utilisation des technologies de l’information et des communications) et des évolutions sociétales.

V RECOMMANDATIONS POUR LA CONCEPTION DES SYSTÈMES A LONGUE DURÉE DE VIE

La démarche a mis en évidence les articulations et les compléments de l’ergonomie prospective adaptés aux systèmes à longue durée de vie. À l’issue de cette proposition, les recommandations pour la conception des systèmes à longue durée de vie se déclinent sur l’ergonomie, l’ingénierie et l’architecture système. Les propositions concernant l’ergonomie sont les suivantes :

- L’ergonome contribue aux activités de prospective en identifiant les variables ergonomiques significatives ; il élabore entre autres choses des personas adaptés, les intègre aux scénarios, évalue les évolutions de ces variables dans les simulations et le système ;
- L’ergonome contribue aux activités de retour d’expérience opérationnel, en particulier pour prendre en compte les évolutions de l’activité des opérateurs, les adaptations qu’ils font des artefacts technologiques, les routines mises en œuvre ;
- L’ergonome doit mener des activités de veille dans plusieurs domaines (démographie, épidémiologie ...) dont les résultats sont exploités pour faire évoluer le système en fonction des évolutions économiques, sociétales, des comportements, des attitudes, sans ignorer les ruptures qui peuvent émerger.

Les propositions concernant l’architecture système sont les suivantes :

- L'architecture initiale du système est conçue pour l'appropriation, c'est-à-dire comprendre un ensemble de modules que les opérateurs peuvent adapter et s'approprier et être pilotée par l'usage ;
- L'architecture initiale du système est conçue afin de prendre en compte les adaptations des opérateurs au fil des itérations, en comportant des réserves (par exemple, réserves de déplacement des navires entre le neuvage et le retrait de service) et en permettant de maintenir la cohérence de l'architecture (Maier & Rechtin, 2003) ;
- L'architecture initiale du système est conçue en découplant la structure, évoluant peu durant le cycle de vie du système, et les dispositifs qui l'équipent, lesquels évoluent beaucoup plus rapidement et sont sujets d'obsolescence (Boehm, 2006) ;
- L'architecture du système intègre les capteurs et les moyens de traitement associés (HUMS, cf. section IV.5) pour recueillir les informations sur l'environnement que rencontre le système durant sa vie opérationnelle.

Les propositions concernant l'ingénierie système sont les suivantes :

- L'ingénierie système met en œuvre une démarche itérative, incrémentale, et participative de développement de concept et d'expérimentation (CD&E) ;
- L'activité de retour d'expérience est menée tout au long de la vie opérationnelle du système pour nourrir cette démarche de conception itérative et incrémentale.

VI CONCLUSION

Pour répondre aux enjeux que posent les systèmes à longue durée de vie, nous avons articulé et complété l'ergonomie prospective avec les concepts de la prospective au sens traditionnel du terme, du processus d'appropriation et de persona, ainsi que ceux d'ingénierie et d'architecture système.

Nous avons mis en évidence l'importance d'un processus itératif basé sur la conception pour l'appropriation et la conception par l'appropriation s'appuyant sur le retour d'expérience et l'activité de veille. Nous avons aussi essayé de montrer les évolutions des activités des ergonomes au sein des équipes projets que cela entraîne, ce qui implique en contrepartie que ces activités soient intégrées dans le plan projet et que les concepteurs le sollicitent pour mettre en œuvre les activités de l'ergonomie prospective.

Enfin, nous avons montré les impacts en terme d'architecture système, pour offrir aux opérateurs les possibilités d'adaptation du système et pour insérer les capteurs qui recueillent les informations d'usage. Plus largement, les impacts concernent aussi les processus d'ingénierie système, en particulier le processus d'exploitation, pour intégrer et systématiser le retour d'expérience pour tracer les évolutions du contexte opérationnel, des usages routiniers des technologies, des pratiques. Notre perspective de recherche est de préciser et d'organiser ces recommandations et de les décliner dans une étude de cas qui présente leur mise en application.

REMERCIEMENTS

Ces travaux de recherche ont été partiellement financés par le Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie, la région Nord Pas de Calais, le CNRS, le FEDER, CISIT, et le Ministère de la défense de France. Les auteurs remercient les relecteurs anonymes de la revue pour leurs nombreuses remarques pertinentes.

BIBLIOGRAPHIE

- ASD-STAN (2013). prEN 9277 / ASD-STAN 9003 *Guide pour le management de l'ingénierie Système*. ASD-STAN
- Bachatène, H., Garnier, J.-L., & Ruault, J.-R. (2008). *Adaptability of software intensive systems, facing new threats and opponents' new tactic. Continuous Design: Process and Architecture*, RTA-SCI-187. Publication OTAN.
- Bornet, C., & Brangier, E. (2013). Les personas : principes, intérêts et limites. *Bulletin de psychologie*, 66, 524, 115-134.
- Boy, G.A. (2012). *Orchestrating Human-Centered Design*. Springer : London.
- Brangier, E., & Bornet, C. (2011). Persona: A method to produce representations focused on consumers' needs. In W. Karwowski, M. Soares & N. Stanton (Eds.), *Human Factors and Ergonomics in Consumer Product Design*. Taylor and Francis, pp 38-61.
- Brangier, É., Bornet C., Bastien, J.M.C., Michel, G., & Vivian, R. (2012). Effets des personas et contraintes fonctionnelles sur l'idéation dans la conception d'une bibliothèque numérique. *Le Travail Humain*, 75 (2), 121-145.
- Brangier, E., & Robert, J.-M. (2014). L'ergonomie prospective : fondements et enjeux. *Le Travail Humain*, 77 (1), 1-20.
- Broadbent, S. (2011). *L'intimité au travail : la vie privée et les communications personnelles dans l'entreprise*. FYP éditions, Limoges, France.
- Cahour, B., & Lancry, A. (2011). Émotions et activités professionnelles et quotidiennes. *Le Travail Humain*, 74 (2), 97-106.
- Chérel, G. (2012). Le contexte et les enjeux du management de projet, de portefeuille et de programme. *Rencontres exclusives de l'AFNOR, Management de projet, de portefeuille et de programme : outils, méthodes, processus*, 7 décembre 2012, AFNOR, Saint-Denis.
- Colson, A., & Cusset, Y. (2008). Retour sur un exercice de prospective : Réflexions pour 1985. *La Documentation française, Horizons stratégiques*, 1(7), 142-150.
- Fidock, J., & Carroll J. (2010). Theorising about the Life Cycle of IT Use: An appropriation perspective. In D.N. Hart and Shirley D. Gregor (Eds), *Information Systems Foundations: Theory building in information systems*. The Australian National University Press, pp. 79-112.
- Fidock, J., Carroll J., & Rynne, A. (2008). *Evaluating information systems: an appropriation perspective*. Information Systems Foundations workshop, ANU, Canberra, October 2008.

- Helmreich, R., & Merritt, A. (1998). *Culture at work in aviation and medicine; national, organizational and professional influences*. Aldershot, Ashgate.
- Idoughi D., Kolski C., Seffah A. (2010). Design Principles of Web-based Services in Large-Scale e-Logistics Processes. In P. Borne, F.G. Filip (Eds.), Proceedings 12th IFAC Symposium on Large Scale Systems: Theory and Applications (July 12-14), Villeneuve d'Ascq, France, pp. 213-218, ISBN 978-2-915913-26-2.
- Idoughi, D., Seffah, A. & Kolski, C. (2012). Adding user experience into the interactive service design loop: a persona-based approach. *Behaviour & Information Technology*, 31 (3), 287-303.
- ISO (2002). ISO/TR 16982:2002 Méthodes d'utilisabilité pour la conception centrée sur l'opérateur humain - Ergonomie de l'interaction homme-système.
- ISO (2008). ISO/CEI 15288:2008 Systems and software engineering – System life cycle processes.
- ISO (2010). ISO 9241-210:2010 Ergonomie de l'interaction homme-système - Partie 210: Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs.
- Julien, P.-A., Lamonde, P., Latouche, D. (1975). La méthode des scénarios en prospective. *L'Actualité économique*, 51 (2), 253-281.
- Karsenty, L. (2011). Confiance interpersonnelle et communication de travail. Le cas de la relève de poste. *Le Travail Humain*, 74 (2), 131-155.
- Kirke, C. (2004). "Organizational culture: the unexpected force". *Journal of battlefield technology*, 7 (2), 11-15.
- Kirke, C. (2005). Organizational culture: can system designers ignore it? In *Proceedings of the IEE and HFI DTC Symposium on People and Systems: Who are We Designing For?* London, 16-17 November, pp. 9-15.
- Leplat, J., (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Paris, Armand Colin.
- Lewandowski, A., Bourguin, G., & Tarby, J.-C. (2007). De l'Orienté Objet à l'Orienté Tâches – Des modèles embarqués pour l'intégration et le traçage d'un nouveau type de composants. *Revue d'Interaction Homme-Machine*, 8 (1), 1-33.
- Lundberg, J., Rollenhagen, C., & Hollnagel, E. (2009). What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals. *Safety Science*, 47, 1297–1311.
- Luzeaux, D., Ruault, J.-R., & Wippler, J.-L. (2011). *Maîtrise de l'ingénierie des systèmes complexes et des systèmes de systèmes*. Paris, Hermès Science Publications.
- Luzeaux, D., & Ruault, J.-R. (2013). *100 questions pour comprendre et agir ; l'ingénierie système*. Paris, AFNOR Éditions.
- Maier, M., & Rechtin, E. (2003). *The Art of Systems Architecting*. Second Edition, Boca Raton, CRC Press, 2000, 313 p.
- Maley, S., Plets, J., & Phan, N., (2007). US Navy Roadmap to Structural Health and Usage Monitoring – The Present and Future. *American Helicopter Society 63rd Annual Forum*, Virginia Beach, VA, May 1-3, 2007.

- Moati, P. (2003). Esquisse d'une méthodologie pour la prospective des secteurs ; une approche évolutionniste. *Cahier de recherche n°187 du CREDOC*, octobre.
- Nelson, J., Buisine, S., & Aoussat, A. (2010). Creativity as a tool for prospective use analysis in the design of innovative products. *Ergo'IA 2010*, 13-15 octobre, Biarritz, France, pp 17-24.
- Nelson, J., Buisine, S., & Aoussat, A. (2012). A methodological proposal to assist scenario-based design in the early stages of innovation projects. *Le Travail Humain*, 75, 279-305.
- Norman, D.A. (1988). *The Psychology of Everyday Things*. New York: Doubleday.
- NTSB (National Transportation Safety Board) (2010). *Accident report, Collision of Metrolink Train 111 with Union Pacific Train LOF65-12*, Chatsworth, California, September 12, 2008. NTSB/RAR-10/01, PB2010-916301
- Ombredane, A., & Faverge, J.-M. (1955). *L'analyse du travail ; facteur d'économie humaine et de productivité*. Paris, PUF.
- Pruitt, J., & Adlin, T. (2006). *The Persona Lifecycle: Keeping People in Mind Throughout Product Design*. San Francisco, Morgan Kaufmann.
- Robert, J.-M., & Brangier, R. (2009). What Is Prospective Ergonomics? A Reflection and a Position on the Future of Ergonomics. In B.-T. Karsh (Ed.), *Ergonomics and Health Aspects* (pp. 162–169). Springer-Verlag.
- Rosnet, E., Jurion, S., Cazes, G., Bachelard, C. (2004). Mixed-Gender Groups: Coping Strategies and Factors of Psychological Adaptation in a Polar Environment. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75 (1), C10-C13.
- Rosson, M.-B., & Carroll, J.-M., (2002). Scenario-Based Design. In J. Jacko & A. Sears (Eds.), *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*. Lawrence Erlbaum Associates, 1032-1050.
- Ruault, J.-R., Vanderhaegen, F., & Luzeaux, D. (2012). Sociotechnical systems resilience. *22nd Annual INCOSE International Symposium*, July 2012, Roma, INCOSE.
- Ruault, J.-R. (2004). Bridging System Engineering and Human Factors Engineering: a step forward. 14th Annual INCOSE International Symposium, Toulouse.
- Ruault, J.-R., Vanderhaegen, F., & Kolski, C. (2012). Persona pour la conception de systèmes complexes résilients. *Ergo'IHM 2012*, 16-19 octobre, Biarritz, France, pp 17-24.
- Valaskakis, K. (1975). Prospective, rétrospective et perspective : un essai de modélisation du temps. *L'Actualité économique*, 51 (2), 209-228.
- Vanderhaegen, F., (2003). *Analyse et contrôle de l'erreur humaine*. Paris, Hermès-Lavoisier.
- Vanderhaegen F. (2012). Dissonance engineering for risk analysis: a theoretical framework. Workshop on Risk Management in Life Critical Systems, March 14-16, 2012, Florida Institute of Technology, USA, communication.
- Wiig, J. (2006). *Optimization of fault diagnosis in helicopter health and usage monitoring systems*, Thèse de doctorat en automatique, École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, décembre.

World Health Organization (1998). *Obesity : preventing and managing the global epidemic : report of a WHO Consultation on Obesity*. Geneva, 3-5 June 1997.

RÉSUMÉ

L'ergonomie prospective dont l'objectif est d'anticiper les besoins et activités des humains dans le but de créer de nouveaux artefacts, complète les concepts, méthodes et outils de l'ergonomie corrective et de l'ergonomie préventive pour répondre aux enjeux actuels des artefacts innovants et des nouveaux usages qui peuvent en être faits. Nous articulons l'ergonomie prospective avec la prospective au sens traditionnel du terme, en exploitant les méthodes des scénarios et l'activité de veille et en mettant en œuvre le persona. Nous les intégrons au processus d'appropriation dans une démarche de conception itérative, à la fois conception pour et par l'appropriation. La conception pour l'appropriation consiste à offrir un ensemble de possibilités aux opérateurs afin qu'ils adaptent et adoptent les artefacts technologiques mis à leur disposition pour réaliser les missions et activités qui sont les leurs. La conception par l'appropriation s'appuie sur le retour d'expérience de l'usage routinier des technologies par les opérateurs après adaptation et appropriation, complétée des résultats de l'activité de veille. Cette démarche crée des évolutions dans les activités et méthodes mises en œuvre par les ergonomes. Ils sont amenés, entre autres, à contribuer à l'élaboration des scénarios dans une perspective prospective, à identifier les caractéristiques des opérateurs qui évoluent au cours du temps et sur lesquels appliquer l'activité de veille. Cette démarche a aussi des impacts sur l'architecture du système et sur les processus d'ingénierie.

Mots-clés : Ergonomie prospective, persona, processus d'appropriation, ingénierie système, prospective, rétrospective.