

UNE EXPERIENCE DE CONCEPTION, DE REALISATION ET D'EVALUATION PAR DES CONDUCTEURS DE LEUR PROPRE SYNOPTIQUE DE CONDUITE DE RESEAU GAZIER

***DESIGN, REALIZATION AND EVALUATION
BY GAS DISTRIBUTION NETWORK CONDUCTORS
OF THEIR OWN MAN-MACHINE INTERFACE***

par C. KOLSKI* et D. WAROUX**

(*) Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, URA CNRS 1118
Le Mont Houy, 59326 Valenciennes Cedex, France

(**) GAZ DE FRANCE, Direction des Etudes et Techniques Nouvelles, BP 33,
93211 La Plaine Saint-Denis Cedex, France

ABSTRACT

This paper describes an experiment related to design, realization and evaluation by three gas distribution network conductors of their own Man-Machine Intreface. The first part presents the study context : the realization of an assistance system called CARDIGAN. The second explains how the third conductors have been directly integrated in the project. Finally, the last part discusses about certain prominent facts concerning the three conductors, for instance their work steps, the use of a graphic editor, this work as an annex task, the relations between the conductors and the computer scientists, the intervention of a specialist in the fied of man-machine interaction, their remarks, and so on.

Key words : man-machine interface design, realization and evaluation ; assistance system ; CARDIGAN ; gas distribution network ; human operator ; annex task.

RESUME

Cet article décrit une expérience de conception, de réalisation et d'évaluation par trois conducteurs de leur propre synoptique de conduite d'un réseau gazier. La première partie présente le contexte de l'étude consistant en la réalisation du système CARDIGAN d'aide à la conduite d'un réseau de gaz. La seconde partie explique dans quelle mesure les conducteurs du réseau ont été impliqués directement dans le projet. Enfin, la dernière partie met en évidence certains faits marquants de cette expérience.

Mots clés : conception, réalisation et évaluation d'interface homme-machine ; système d'assistance ; CARDIGAN ; réseau de distribution urbain de gaz ; opérateur humain, tâche annexe.

EXTENDED ABSTRACT

Dans le domaine de l'assistance graphique à l'opérateur pour le contrôle de procédés industriels complexes, les études ergonomiques ont mis en évidence de nombreux problèmes résultant d'une proposition d'implication insuffisante, par le concepteur, de l'opérateur dans les phases de conception, de réalisation et d'évaluation des outils d'assistance. Cet état de fait entraîne généralement l'intégration dans les salles de contrôle de certains outils inadaptés aux tâches à réaliser, avec des conséquences ergonomiques variées vis-à-vis de leur utilisation par l'opérateur. Pourtant, grâce à l'évolution technologique et à l'apparition d'outils de plus en plus perfectionnés, il est maintenant envisageable, sous certaines conditions, de faire participer directement les opérateurs à la conception, à la réalisation et à l'évaluation des synoptiques de conduite de leur procédé. Un tel cas de figure fait l'objet de l'étude présentée dans cet article

En effet, un système d'aide à la conduite, appelé CARDIGAN (Conduite Assistée de Réseaux de DIstribution de GAz Naturel) a été intégré dans la salle de télé-exploitation du réseau de gaz de l'agglomération urbaine de Lille. Son objectif est d'améliorer la qualité du service par une aide à la résolution des problèmes posés par la conduite d'un réseau de distribution d'énergie bien spécifique, ici le gaz naturel, selon cinq aspects : le suivi du réseau en temps réel, l'élaboration de stratégies de sauvegarde en cas d'incident, la préparation des consignes d'exploitation associées aux travaux, l'étude des faiblesses du réseau, l'entraînement des opérateurs et la formation des nouveaux agents. Dans le cadre de l'expérimentation du système CARDIGAN, en plus de leur tâche de conduite du réseau de gaz, trois conducteurs se sont vus confier deux missions différentes : concevoir et réaliser le synoptique d'exploitation du réseau de gaz de l'agglomération urbaine de Lille, évaluer les différentes fonctionnalités du système CARDIGAN, étudier son apport dans la salle de conduite et proposer des améliorations.

Le projet CARDIGAN a été riche de constatations liées aux aspects techniques, méthodologiques et ergonomiques dus à l'implication directe des opérateurs aux phases de conception, de réalisation et d'évaluation des aides mises à leur disposition. Certaines d'entre elles sont discutées dans cet article, particulièrement : (i) la démarche de travail des conducteurs, (ii) certaines difficultés d'utilisation de l'outil de création de synoptique, (iii) les travaux sur CARDIGAN en tant que tâche annexe pour les conducteurs du réseau de gaz, (iv) les rapports entre les conducteurs et les informaticiens au fur et à mesure du projet, (v) l'encadrement des conducteurs par un spécialiste en communication homme-machine. Enfin, l'article énonce certaines constatations et remarques des conducteurs. Ces différents points résultent de verbalisations avec les conducteurs.

I - INTRODUCTION

Dans le domaine de l'assistance graphique à l'opérateur pour le contrôle de procédés industriels complexes, les études ergonomiques ont mis en évidence de nombreux problèmes résultant d'une proposition d'implication insuffisante, par le concepteur, de l'opérateur dans les phases de conception, de réalisation et d'évaluation des outils d'assistance. Cet état de fait entraîne généralement l'intégration dans les salles de contrôle de certains outils inadaptés aux tâches à réaliser, avec des conséquences variées vis-à-vis de leur utilisation par l'opérateur, par exemple :

- l'apparition de stress, de tension nerveuse et/ou de fatigue visuelle, entraînant une charge de travail trop importante lors de certaines situations anormales (Millot, 1988),
- la recrudescence d'erreurs humaines (Leplat, 1985), pouvant aller jusqu'à l'apparition d'erreurs "diaboliques", provoquées par des erreurs de représentation mentale de l'installation où l'opérateur croit avoir une bonne représentation de l'installation et persévère dans son processus mental erroné, (voir par exemple l'étude de Carnino et al. (1986) concernant

l'accident de Three Miles Island),

- l'adoption d'un support en "détournant la signification" de l'information, où des fonctionnalités sont utilisées à des fins différentes de celles imaginées par le concepteur, si une information est manquante ou insuffisamment précoce (Van Daele, 1988a),
- le sous-emploi, le rejet (total ou partiel) de supports d'information, en raison (i) de l'inutilité des vues ou la redondance de celles-ci par rapport à d'autres supports d'information (Van Daele, 1988b), (ii) de la possibilité de détourner l'information d'autres supports fournissant toutes les informations jugées utiles (Housiaux, 1988), ou encore (iii) de la mauvaise présentation de l'information ou de son inadaptation aux besoins de la tâche sans toutefois avoir la possibilité de détourner l'information d'autres supports (Notte, 1986).

Pour remédier à ces problèmes, de nombreux auteurs tels Gould et Lewis (1985), Schneiderman (1987) ou Scapin et al. (1988) mettent en évidence le fait que "la première pièce maîtresse" du processus de conception - l'utilisateur se plaçant comme futur "client potentiel" du système - doit être considérée avec beaucoup de soin dès la phase d'initialisation. En effet, un utilisateur sera mieux préparé à accepter un système s'il a été associé à la réalisation de son cahier de charge, et s'il remarque qu'un certain nombre de ses propositions ont été implémentées. Ainsi, en faisant appel à des techniques déjà bien établies (interviews, mise en situation, etc), les utilisateurs les plus expérimentés peuvent participer à la réussite du produit final en s'assurant que leurs besoins ont été pris en compte.

Mais, vis-à-vis de l'opérateur, il est possible d'aller encore plus loin dans la conception. En effet, grâce à l'évolution technologique et à l'apparition d'outils de plus en plus perfectionnés, il est maintenant envisageable, sous certaines conditions, de faire participer directement les opérateurs à la conception, à la réalisation et à l'évaluation des synoptiques de conduite de leur procédé. Un tel cas de figure fait l'objet de l'étude présentée dans cet article composé de trois parties principales : (i) la première partie décrit le contexte de l'étude consistant en la réalisation du système CARDIGAN d'aide à la conduite d'un réseau de gaz, (ii) la seconde partie explique dans quelle mesure les conducteurs du réseau ont été impliqués directement dans le projet, (iii) enfin, la dernière partie met en évidence certains faits marquants de cette expérience.

II - REALISATION D'UN SYSTEME D'AIDE A LA CONDUITE DE RESEAU DE DISTRIBUTION DE GAZ

Les réseaux urbains de distribution du gaz naturel sont dimensionnés pour s'adapter à une grande dynamique de fonctionnement et les automatismes locaux dont ils sont dotés, reliés à des moyens de télé-exploitation, leur confèrent une grande fiabilité. Cependant, dans les grandes agglomérations, compte tenu de la densité et de la complexité croissantes du réseau d'une part, et des enjeux économiques d'autre part, il devient utile d'aider les conducteurs dans leurs prises de décisions en cas d'incident ou de programmation de travaux par exemple.

II.1 - LE SYSTEME D'AIDE CARDIGAN

Le service de recherche en informatique industrielle de la DETN du Gaz de France a fait admettre en 1986 le principe d'un système suffisamment léger pour être implanté sur une station d'ingénieur en vue d'être mis entre les mains de l'exploitant. Le système d'aide à la conduite, appelé CARDIGAN (Conduite Assistée de Réseaux de DIstribution de GAz Naturel) ainsi réalisé a été intégré dans la salle de télé-exploitation du réseau de gaz de l'agglomération urbaine de Lille (Loubradou et al., 1988). Son objectif est d'améliorer la qualité du service par une aide à la

résolution des problèmes posés par la conduite d'un réseau de distribution d'énergie bien spécifique, ici le gaz naturel, selon cinq aspects :

- le suivi du réseau en temps réel,
- l'élaboration de stratégies de sauvegarde en cas d'incident,
- la préparation des consignes d'exploitation associées aux travaux,
- l'étude des faiblesses du réseau,
- l'entraînement des opérateurs et la formation des nouveaux agents.

A partir de mesures en temps réel, et en étant en retrait par rapport au système habituel de télé-exploitation du réseau, le système CARDIGAN permet au conducteur de calculer à tout instant les pressions et les débits aux points critiques, de visualiser les zones saturées, d'estimer les débits non renseignés, de prévoir à court terme les pointes de consommation, facilitant ainsi, par exemple, la définition de stratégies de bouclage pendant les travaux, la simulation de situations limites afin de choisir la meilleure configuration de reprise, ceci dans un délai moyen de dix minutes qui correspond au temps qu'il faut à une équipe d'intervention pour se rendre sur place : elle peut ainsi, par exemple, recevoir les ordres par radio au moment où elle arrive au point de l'incident signalé.

CARDIGAN utilise deux écrans graphiques haute résolution. Sur le premier écran, le conducteur modifie certains paramètres du réseau de gaz lors de sessions de simulation. Il peut alors comparer l'état simulé du réseau avec l'état courant disponible sur le second écran. L'architecture informatique de CARDIGAN est décrite plus précisément dans la partie suivante.

II.2 - ARCHITECTURE DU SYSTEME CARDIGAN

Le cycle de traitement du système CARDIGAN se base sur les 4 modules suivants, figure 1 (Loubradou et al., 1988) :

- Le module TEMESTA acquiert les grandeurs télémesurées nécessaires à la mise à jour de la Base de données Centrale. Ces grandeurs sont injectées dans la base via une liaison série reliée au système de télé-exploitation installé sur le site.
- Le module ESTIMATEUR utilise un modèle mathématique paramétrable du comportement des ensembles de clients pour établir à partir des valeurs télémesurées une valeur instantanée de la consommation aux points de soutirage non mesurés. Il renvoie après calcul les grandeurs estimées dans la Base de Données Centrale pour mise à jour.
- Le module ARCHIVEUR envoie dans une Base de Données d'Archives une sélection des grandeurs mesurées et calculées relatives au cycle qui vient d'être traité.
- Le module CAPRICE pré-traite les valeurs de la Base de Données Centrale et effectue les calculs de perte de charges dans le réseau maillé de gaz dont les lois sont non linéaires. La version installée en salle de télé-exploitation du réseau de gaz de l'agglomération urbaine de Lille est capable de traiter trois niveaux de pression de 300 noeuds chacun et simule les détendeurs entre les niveaux. Les valeurs calculées sont ensuite envoyées dans la Base de Données Centrale.

Le conducteur du réseau accède aux fonctionnalités du système CARDIGAN au travers de l'interface utilisateur exploitant deux modules, figure 1 :

- Sur une première console, le module PICASSO reprend les informations nécessaires au rafraîchissement des schémas synoptiques et des messages d'alarmes, affichés en

permanence.

- Le module VIVIANE incrémente d'un pas de temps les courbes historiques des pressions et des débits qui s'affichent à la demande sur une seconde console ou en superposition avec les synoptiques de PICASSO par multifenêtrage.

Ces modules sont gérés par un superviseur, dont le rôle est de suivre leur bon enchaînement en fonction des besoins de l'application, des ressources de la machine et de gérer les éventuels conflits d'accès à la mémoire centrale. Enfin, il faut signaler la présence d'un système de gestion de base de données, développé spécifiquement à l'aide du système UNIFY, permettant la description de chacun des éléments constituant le réseau de gaz (tronçons, maillage, postes, clients ...).

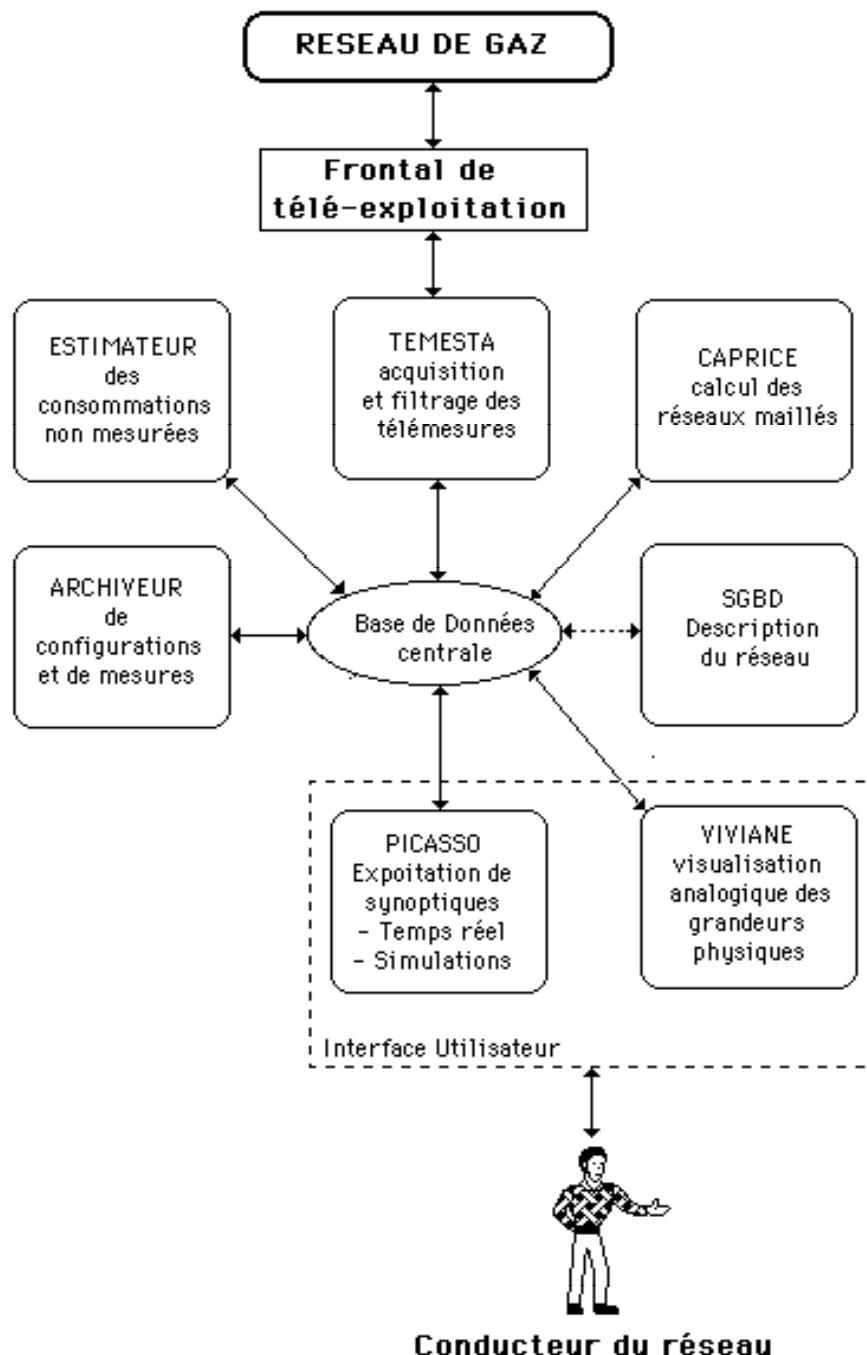


Figure 1 : Architecture du système CARDIGAN
(CARDIGAN system architecture)

CARDIGAN a été implanté sur un ordinateur HP9000 (série 800) sous le système d'exploitation UNIX. La gestion graphique de l'interface utilisateur est basée sur X-Windows. L'installation du système CARDIGAN sur le site de Lille a été réalisée grâce au concours des conducteurs du réseau, encadrés par l'ingénieur d'exploitation, qui ont été impliqués directement dans les phases de conception et de réalisation du synoptique, ainsi que dans celle d'évaluation ergonomique du système complet CARDIGAN. La caractéristiques des opérateurs ainsi que leur implication dans le projet font l'objet des deux paragraphes suivants.

III - LES TROIS CONDUCTEURS ET LEUR POSTE DE TRAVAIL

Les trois conducteurs concernés prirent leurs fonctions au poste de conduite au début de l'année 1987, quelques mois avant l'installation de CARDIGAN, fin 1987. Ces trois conducteurs étaient des agents techniques confirmés, de connaissances et d'expérience complémentaires.

- Le premier opérateur travaillait initialement aux études, et s'était spécialisé dans les calculs théoriques et les simulations sur le réseau de gaz.
- Le second avait travaillé plusieurs années dans la télé-exploitation du réseau.
- Enfin, le troisième opérateur était un ancien contremaître d'exploitation qui connaissait bien le terrain (matériel, contraintes d'exploitation du réseau)

Pour réaliser leur tâche de conduite, les trois conducteurs avaient à leur disposition, au départ du projet CARDIGAN, plusieurs supports d'information ou de communication :

- un écran alphanumérique présentant des alarmes commentées. Par mesure de sécurité, la plupart de ces informations sont également disponibles sur un minitel utilisable si l'écran tombe en panne. Les alarmes sont envoyées automatiquement sur imprimante et provoquent un signal sonore. Elles sont acquittées à partir d'un boîtier spécifique.
- Un panneau synoptique présentant de manière synthétique le réseau.
- Des schémas d'exploitation sur papier affichés sur un des murs de la salle de conduite. Ceux-ci présentent en détail chacun des tronçons du réseau. Ils sont mis à jour manuellement en fonction des modifications sur celui-ci.
- Plusieurs téléphones en liaison ou non avec le réseau téléphonique national.
- Un poste de radio permettant aux conducteurs de dialoguer avec les techniciens chargés d'effectuer des vérifications ou des réparations sur le réseau.
- Divers documents papier.

On ne décrira pas ici l'activité normale du conducteur de réseau qui est en tout point semblable à celle du conducteur d'un grand système de distribution et de transport de fluide mais avec des constantes d'inertie et des temps d'intervention beaucoup plus longs que pour l'électricité et compris entre la minute et l'heure (Loubradou et al., 1988). Ainsi, les tâches de conduite sont de deux ordres : (i) les fonctions normales qui consistent à surveiller les pressions et les débits en certains points du réseau et à commander le réglage des pressions d'alimentation de certains postes lorsque la demande de la clientèle augmente fortement ou lorsque des travaux sont programmés en certains points des canalisations, (ii) les fonctions d'intervention qui consistent à faire agir le plus rapidement possible des équipes sur le terrain lorsqu'un incident est signalé par des tiers ou détecté

par les circuits de télémesure.

Les trois opérateurs se relayent pour conduire le réseau de 6h à 20h : (i) l'un d'eux travaille le matin de 6h à 13h, (ii) le second intervient de 13h à 20h, (iii) le troisième est alors "de bureau" de 8h à 16h30 : il s'occupe de tâches annexes à la tâche de conduite, mais se tient prêt à seconder le conducteur de service en cas de problème. En dehors de ce créneau, un opérateur sur les trois est d'astreinte chez lui : en cas de problème, il est appelé automatiquement par téléphone et, dans ce cas, il peut interroger la station de conduite à distance sur minitel. Ces trois opérateurs ont été impliqués directement dans l'application du projet CARDIGAN considéré par le responsable d'exploitation de l'agglomération lilloise comme un ensemble de tâches annexes à celle de conduite.

IV - L'IMPLICATION DES CONDUCTEURS DANS LE PROJET CARDIGAN

Dans le cadre de l'expérimentation du système CARDIGAN, en plus de leur tâche de conduite du réseau de gaz, les trois conducteurs se sont vus confier deux missions différentes :

- concevoir et réaliser le synoptique d'exploitation du réseau de gaz de l'agglomération urbaine de Lille.
- évaluer les différentes fonctionnalités du système CARDIGAN, étudier son apport dans la salle de conduite et proposer des améliorations.

IV.1 - LA CONCEPTION ET LA REALISATION DU SYNOPTIQUE PAR LES CONDUCTEURS

Il a été mis entre les mains des opérateurs deux outils informatiques différents :

- un éditeur graphique de haut niveau du marché, supportant un générateur de synoptiques appelé DV-DRAW (V.I. Corporation, 1988).
- un système de gestion de base de données permettant la description de chacun des éléments constituant le réseau de gaz (tronçons, postes, clients ...).

Les trois conducteurs du réseau, après avoir subi une formation spécifique par les ingénieurs informaticiens devaient schématiser eux-mêmes le réseau de gaz de l'agglomération urbaine de Lille en se partageant le territoire, après avoir défini des symboles proches de ceux utilisés habituellement sur les plans papier. Une douzaine de vues ont été créées lors de ce projet. Elles sont de deux types :

- des schémas d'ensemble des réseaux de répartition constituant des canalisations principales des agglomérations comme Lille, Roubaix, Tourcoing avec les postes d'alimentation de ces réseaux,
- des schémas de zones plus restreintes montrant en outre les robinets et vannes manoeuvrables par les conducteurs ainsi que tous les gros consommateurs de gaz (usines, chaufferies, secteur tertiaire) et les postes de distributions publiques à partir desquels rayonne le réseau de distribution à basse pression qui alimente les usagers.

Ces schémas semi-géographiques portent des symboles conventionnels pour tous les organes, des champs indiquant en clair les valeurs des pressions et des débits aux postes d'alimentation. Les

couleurs sont utilisées d'une part pour différencier les états ouvert/fermé des organes et d'autre part pour indiquer les pressions dans les canalisations au moyen d'une palette correspondant à des tranches de pression. Ces vues peuvent représenter, à la demande du conducteur, des situations d'exploitation réelles ou des situations simulées à partir d'hypothèses de consommation, par exemple une forte demande due à un abaissement brutal de la température.

Les résultats sont très riches et non encore totalement exploités. Ils conduisent à des constatations faites antérieurement sur la proximité des représentations entre écran et plan-papier, la limitation du nombre d'objets animables par figure, la quantification des grandeurs physiques par les couleurs. Etant donné que les conducteurs sont obligés de continuer à se référer aux plans papier pour les vues de détail en exploitation, il n'est pas possible, dans la phase actuelle de développement, de faire abstraction de l'existant et de repenser complètement les vues en fonction des principes ergonomiques les plus récents (pour autant qu'ils soient adaptés aux mentalités et substituables (sans danger et sans rejet) aux habitudes acquises de longue date par les conducteurs).

IV.2 - L'EVALUATION DU SYSTEME CARDIGAN PAR LES CONDUCTEURS

Il a été demandé aux conducteurs d'évaluer chacune des fonctionnalités offertes par le système CARDIGAN.

Les conducteurs pouvaient ainsi contribuer à l'amélioration de chacun des modules du système, et en particulier faire valoir auprès des concepteurs leurs besoins de modélisation de certaines configurations de conduite à prendre en compte par le modèle mathématique calculant les valeurs associées à différents points stratégiques du réseau. En effet, ils relevaient certains problèmes, transmettaient leurs remarques et leurs propositions d'amélioration aux ingénieurs du service de recherche appliquée et de développement (Loubradou et al., 1988) qui étaient chargés de la mise au point de CARDIGAN.

V - DISCUSSIONS SUR CETTE EXPERIENCE

Le projet CARDIGAN a été riche de constatations liées aux aspects techniques, méthodologiques et ergonomiques dus à l'implication directe des opérateurs aux phases de conception, de réalisation et d'évaluation des aides mises à leur disposition. Certaines d'entre elles font l'objet de ce paragraphe qui discute successivement (i) de la démarche de travail des conducteurs, (ii) des difficultés d'utilisation de l'outil de création de synoptique, (iii) des travaux sur CARDIGAN en tant que tâche annexe pour les conducteurs du réseau de gaz, (iv) des rapports entre les conducteurs et les informaticiens au fur et à mesure du projet, (v) l'encadrement des conducteurs par un spécialiste en communication homme-machine, et qui enfin énonce (vi) certaines constatations et remarques des conducteurs. Ces différents points résultent de verbalisations avec les conducteurs.

V.1 - LA DEMARCHE DE TRAVAIL DES CONDUCTEURS

En un an et demi, les conducteurs sont partis des plans détaillés disponibles sur le réseau pour obtenir des plans CARDIGAN. Chacun des 3 opérateurs s'est occupé d'une partie du réseau à représenter, et, après de nombreux calculs, hypothèses et simplifications, un squelette des principaux tronçons a été obtenu. Ce squelette a été réajusté au fur et à mesure de l'étude pour trois raisons principales : (i) suite à l'expérience résultant de certains incidents, des remises en question de certaines portions sélectionnées ou non ont été effectuées, (ii) des nouveaux clients ont été raccordés au réseau, (iii) en fonction de nouvelles poses de canalisations, il a fallu remanier

certaines zones.

Ainsi, il a été nécessaire aux conducteurs d'étudier l'importance dans la répartition du gaz de chacun des tronçons afin de décider de leur sélection ou non pour être représenté sur le synoptique, les critères de sélection et de simplifications des tronçons étant basés sur les moyens possibles de sauvegarde de la consommation de la clientèle.

Dès le départ du projet, les conducteurs ont pris connaissance des limitations techniques pour obtenir la base simplifiée de CARDIGAN : pour des raisons de temps de réponse du système informatique, 300 noeuds au maximum par niveau de pression leur ont été permis alors que le réseau en comporte 25.000 environ. Il s'est avéré lors de la phase d'évaluation du système que ce nombre de 300 noeuds était suffisant pour connaître la tendance de l'état du réseau mais qu'il avait pour conséquence de compliquer le travail de simplification du réseau et le regroupement de clients par exemple. A partir de cette limitation, les opérateurs devaient étudier le réseau de manière à sélectionner les informations utiles, les plus représentatives du réseau en termes particulièrement de calibres de tuyaux, de liaisons et de clients. Ainsi, leur but principal était, après réduction, de se rapprocher le plus possible de la réalité du réseau.

De nombreuses discussions entre les conducteurs ont alors eu lieu en fonction des limitations techniques. Ils ont procédé par approximations successives, par regroupement de clients par exemple, trouvé des astuces et des stratégies de regroupement. Le travail coopératif des trois conducteurs a été facilité par la bonne entente régnant entre eux. De plus, en raison de leur complémentarité d'expérience et de connaissance, chacun d'entre eux pouvait trouver chez les deux autres des réponses à ses problèmes. Cet état de fait a été apprécié par ceux-ci, dans la mesure où ils pouvaient émettre des avis par rapport à leur propre vécu.

Ainsi, l'ingénieur d'exploitation avec les trois conducteurs ont dégrossi le réseau pour obtenir un squelette de réseau simplifié, puis ils l'ont découpé pour en faire traiter chacun un tiers par les conducteurs. La démarche de travail de chacun des trois conducteurs peut se résumer ainsi : (i) étude du réseau, (ii) sélection des données (clients, tronçons, etc), (iii) création des données dans la base à l'aide du gestionnaire spécifique de bases de données, (iv) création/modification des images à l'aide de l'éditeur graphique DV-DRAW, (v) création des liens entre la base de données et l'éditeur.

Ces travaux se sont effectués sous la "pression" - jugée bénéfique et motivante par les conducteurs - des cadres soucieux d'obtenir rapidement des résultats (Loubradou et al., 1988). Il s'est alors avéré que les opérateurs, en fin de compte, travaillaient plus rapidement que prévu sur leur partie (simplification du réseau, constitution de la base de données et réalisation des synoptiques du réseau), et qu'ils prenaient de l'avance par rapport au planning des ingénieurs travaillant sur le reste du système CARDIGAN. Enfin, il faut souligner que les conducteurs ont éprouvé un intérêt certain pour ce projet lié aux technologies nouvelles.

V.2 - LES DIFFICULTES D'UTILISATION DE L'OUTIL DE CREATION DE SYNOPTIQUES

Tout au long de ces années d'expérimentation, il a été possible à l'équipe de développement de suivre la création des synoptiques, leur évolution et les modifications qui leur étaient apportées (Waroux, Danquigny, 1989).

Il s'avère que, du fait de l'évolution de son réseau, tant en extension géographique qu'en équipements techniques, le conducteur a besoin, une ou deux fois par an, de mettre à jour le synoptique. La démarche suivie consiste à (i) reprendre les caractéristiques des clients et revoir le

réseau en conséquence, (ii) sélectionner les données (clients, tronçons, etc), (iii) rentrer les données à l'aide du gestionnaire spécifique de bases de données, (iv) modifier les images à l'aide de l'éditeur graphique DV-DRAW, (v) faire les liens entre la base de données et l'éditeur.

Ainsi, le conducteur a besoin de créer des additifs aux synoptiques, donc de manipuler les icônes et les symboles en activant le programme de création de l'éditeur graphique. Il devra alors se remémorer les menus et les fonctions de manipulation proposées par le logiciel, se remettre dans l'état du dessinateur qu'il était au moment où il a créé l'ensemble du synoptique. Confronté au menu qui lui propose les actions élémentaires telles que : "translation de figure", "rotation de figure", etc, transcris en expressions très concises, il peut ne pas les retrouver ou ne pas les reconnaître, surtout si elles sont situées dans un menu secondaire placé dans une arborescence. La difficulté est naturellement accrue lorsque les menus sont des abréviations de la langue anglaise, l'opérateur parlant et lisant seulement le français.

Dans l'impossibilité de retrouver une fonction, passant parfois plusieurs fois devant sans la voir ou sans l'identifier, la recherche pouvant conduire à un abandon, l'opérateur va essayer de contourner le problème en utilisant un enchaînement de plusieurs autres fonctions qui donneront le même résultat final à ses yeux. Par exemple, l'impossibilité de retrouver la fonction "ROT" (rotation) ou de savoir la manipuler, fonction qui permet de faire tourner une figure autour de son barycentre par angles successifs de 10 degrés, conduit l'opérateur à imaginer un moyen de reconstituer la dite figure dans sa position définitive en la redessinant complètement avec les fonctions de base : traits, points, cercles ... Ceci est évidemment beaucoup plus consommateur de temps, le résultat est bien moins précis, la qualité, la présentation, la répétabilité sont affectées. Une telle action peut avoir des conséquences mal évaluables dans le suivi d'un procédé industriel en temps réel. Elle entraîne de facto des figures moins précises, des encombrements mémoire superflus et des temps d'exécution plus longs. C'est d'ailleurs par des indices de ce type que l'on s'est aperçu de l'utilisation de ces stratégies de remplacement ou de contournement. Il semble apparaître qu'elles seront d'autant plus astucieuses que l'opérateur a plusieurs métiers, c'est-à-dire qu'il est appelé à tourner sur des tâches diverses avec les autres membres de son équipe et donc à faire fonctionner un procédé dans des situations dégradées par des réparations "provisoires" ou par des circuits annexes.

V.3 - TACHE DE CONDUITE PRINCIPALE ET TACHE DE CONCEPTION ANNEXE

Dans les salles de contrôle de procédés industriels, on observe généralement une importante variation de la charge de travail de l'opérateur en fonction de la situation, qui peut présenter deux cas extrêmes (Millot, Grzesiak, Willaeys, 1985 ; Millot, 1988) :

- Pendant le fonctionnement anormal du procédé, l'opérateur humain est soumis à une surcharge de travail due à une grande quantité d'informations à traiter, ou à un grand nombre d'actions à entreprendre pour diagnostiquer et corriger le défaut.
- Pendant le fonctionnement normal, la grande autonomie des systèmes de contrôle/commande provoque une sous-charge de travail de l'opérateur qui pourrait avoir pour conséquences, à court terme, une baisse de vigilance et d'attention et, à long terme, une dégradation de son modèle interne et donc de son aptitude à résoudre les problèmes. Ceci est cependant compensé habituellement par des tâches d'exploitation indépendantes de la conduite telles que la planification des travaux de branchement.

Les travaux réalisés par les trois conducteurs dans le cadre du projet CARDIGAN ont consisté en une tâche annexe à leur tâche principale de conduite du réseau de gaz. Ces travaux se

sont donc situés pendant le fonctionnement normal du réseau. Cependant, lors des verbalisations, les opérateurs ont souligné le fait qu'ils avaient parfois du mal à se déconnecter totalement de cette tâche annexe en cas de problème sur le réseau. Ceci ne leur était pas facile car, d'après eux, ils avaient en tête les problèmes liés à la simplification du réseau et à sa représentation graphique.

De plus, dans le cadre de ce projet, il leur arrivait d'être dérangés dans leur tâche principale de conduite du réseau suite aux démonstrations du système d'aide lors de visites, aux réunions de concertation, et aux manipulations des ingénieurs sur le système informatique. Enfin, il convient de signaler que les opérateurs ont actuellement une nouvelle tâche annexe : la gestion d'un parc de micro-informatique facilitant le suivi en exploitation du réseau.

V.4 - LES RAPPORTS ENTRE LES CONDUCTEURS ET LES INFORMATICIENS AU FUR ET A MESURE DU PROJET

Pendant les premiers mois du projet, le dialogue a été constant entre les trois conducteurs du site lillois et les cinq ingénieurs du service de recherche - situés dans la région parisienne - par l'intermédiaire d'une messagerie reliée à un modem entre la salle de conduite et le centre de développement du système CARDIGAN. Leurs messages étaient lus tous les jours. Puis le modem est tombé en désuétude. Le dialogue a continué par téléphone puis les appels se sont progressivement espacés au fil des mois. C'est ensuite surtout à l'occasion d'améliorations du système CARDIGAN directement sur le site, pendant lesquels les ingénieurs restaient parfois plusieurs journées dans la salle, que le dialogue reprenait véritablement.

Les verbalisations montrent que, avec du recul, les opérateurs auraient souhaité recevoir une formation plus complète sur les aspects logiciels et matériels des outils informatiques autour desquels était bâti CARDIGAN et en particulier sur UNIX : ils auraient souhaité moins dépendre des informaticiens pour certains petits problèmes techniques qui parfois bloquaient le système CARDIGAN pendant plusieurs jours et retardaient ainsi la conception et la réalisation des synoptiques. Bien entendu, ils se rendaient compte qu'ils risquaient par de fausses manipulations de perdre certains fichiers par exemple, mais ils auraient tout de même souhaité pouvoir intervenir sur le système informatique. Ils recevaient des petites formations de temps en temps (au total environ 2 à 3 journées de formation sur UNIX par opérateur) de la part des ingénieurs du service de recherche lorsqu'ils venaient à Lille pour travailler sur CARDIGAN.

V.5 - L'ENCADREMENT DES CONDUCTEURS PAR UN SPECIALISTE EN COMMUNICATION HOMME-MACHINE

Dans un but d'évaluation ergonomique et d'amélioration des vues réalisées, le responsable du projet a fait appel à un spécialiste en communication homme-machine provenant du Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, à un stade déjà avancé de la conception et de la réalisation des vues par les conducteurs. Jusque là, les ingénieurs d'étude s'étaient appuyés sur les recommandations générales en matière d'interfaces et de communication homme-machine diffusés dans les établissements (EDF-DER, 1988).

Cette intervention a été fortement appréciée des conducteurs qui, après une formation de plusieurs journées, ont été amenés à étudier et critiquer l'interface qu'ils avaient eux-mêmes réalisée. L'intervention par le spécialiste de communication homme-machine s'est appuyée sur des méthodes de conception et d'évaluation développées au Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine et exposées dans (Millot, 1988; Kolski, 1989; Taborin, 1989; Abed, 1990), ainsi que sur des connaissances ergonomiques recensées par Kolski (1989 ; 1991).

L'intervention ergonomique a été effectuée selon deux approches : une approche théorique et

une approche pratique. L'approche **théorique** a consisté en une sensibilisation à l'ergonomie des interfaces homme-machine. Elle a été décomposée en quatre parties (Kolski, 1991) :

- **Présentation de concepts de base sur l'opérateur humain dans un contexte de contrôle de procédé** : principe de l'assistance, fonctionnement et caractéristiques de l'opérateur humain, l'homme et l'ordinateur, principes de résolution de problème, types de comportements de l'opérateur, types de raisonnements, charge de travail, priorités entre manoeuvres, stress, traitement d'information et mémoire, canal unique, travail en séquence, modèle de conduite, représentation mentale du procédé, types de connaissances, etc.
- **Recensement de méthodes traditionnelles d'affichage graphique susceptibles d'être utilisées dans les salles de contrôle** : analogique sans mémoire, analogique avec mémoire, par déformation, par modèles de fluence, synoptique, de "service", de manoeuvre et d'incident, spécifiques, etc.
- **Etude des réactions de l'opérateur humain en salle de contrôle face aux images graphiques de l'interface homme-machine** : adoption, rejet, absence, détournement de signification, erreurs humaines, fatigue, stress, etc.
- **Présentation de recommandations ergonomiques utilisables pour la conception et l'évaluation d'interface homme-machine** : pertinence de l'information, niveaux d'abstraction, informations permettant la prévision, contrôle des entrées de l'opérateur, prise en compte du degré d'expérience et de connaissance de l'opérateur, temps de réponse, représentation des états logiques, imprimante, alarmes, nombre d'écrans, appel de vues, codage de l'information (coloré, textuel, symbolique, par attribut video...), organisation et structuration de l'information, homogénéité et standardisation de l'information, simplification et allègement des vues, notion de densité d'information, perception et interprétation de l'information, règles spécifiques, etc.

Cette sensibilisation a fait l'objet de nombreuses phases de discussion par rapport à la problématique de la conduite de gaz au BCC de Lille.

L'approche **pratique** a débouché sur une évaluation ergonomique des vues graphiques réalisées dans le cadre du projet CARDIGAN en reprenant globalement puis point par point les recommandations ergonomiques étudiées par les conducteurs. Cette évaluation a conduit à des propositions de réaménagement issues de l'ensemble des conducteurs sensibilisés aux facteurs humains lors de l'approche théorique. Suite à ces propositions, des essais ont été réalisés directement sur station graphique, à l'aide de l'éditeur DV-Draw. Des phases de discussions ont émergé de nombreuses idées et/ou propositions ergonomiques concernant l'ergonomie de l'interface en cours de réalisation, l'objectif étant que celles-ci proviennent avant tout des conducteurs eux-mêmes. Certaines idées et propositions ont été centralisées dans "un cahier de doléances" suggéré par les conducteurs et spécialement conçu à leur intention, visant à faciliter leur travail personnel d'évaluation en continu du système CARDIGAN et de son interface.

Du point de vue du contenu informationnel, il s'est avéré que les variables sélectionnées et placées sur écran répondaient globalement à leurs besoins informationnels lors des simulations sur le réseau. En revanche, au niveau de la présentation des informations, plusieurs problèmes ergonomiques ont été mis en évidence. Par exemple, des informations manquaient de lisibilité, certains blocs d'informations étaient mal présentés, des symbolisations ainsi que la présentation des échelles de couleur étaient différentes d'une vue à une autre, des contrastes colorés provoquaient une gêne visuelle chez le conducteur, certaines vues contenaient des pavés colorés, les chargeant ainsi inutilement, etc.

V.6 - CONSTATATIONS ET REMARQUES DES CONDUCTEURS

D'après les conducteurs, la conception du synoptique leur a permis d'acquérir une excellente connaissance du réseau dans la mesure où ils avaient à étudier chacune des caractéristiques des différents tronçons et des influences mutuelles

De plus, ils s'entendent à dire que pour ceux qui n'ont pas étudié et simplifié le réseau lors de cette étude, cet outil est très utile pour se former. D'ailleurs, le jeune conducteur qui a remplacé, vers la fin du projet CARDIGAN, l'un des trois conducteurs qui ont été impliqués dans celui-ci, s'en est servi pour compléter sa formation : apprendre le réseau, simuler des arrêts de poste(s). Il a ainsi pu parfaire son apprentissage par des simulations sur des cas d'école rencontrés en exploitation.

Suite à des séries de simulations, les conducteurs ont constaté la robustesse du réseau dans la mesure où son maillage empêchait la plupart du temps sa dégradation, en offrant de nombreuses possibilités pour sauver la situation en cas de problème sur un tronçon. En effet, le réseau de gaz a été prévu pour prendre en compte un doublement possible des besoins en gaz depuis sa construction à l'an 2000.

Il est intéressant de souligner que, par rapport à la réalité, les conducteurs ont, au fur et à mesure de leurs études et simulations, constaté certaines incohérences vis à vis de la distribution du gaz dans le réseau en fonction des besoins des clients. Ils ont pu confirmer la mise en évidence de plusieurs classes de clients. Certains, en effet, utilisent beaucoup moins d'énergie que ce qu'ils ont demandé, et leurs besoins réels ne correspondent donc pas à leur demande. Il faut bien entendu leur laisser l'accès à la puissance demandée mais cette constatation permet d'envisager certaines perspectives de mise en oeuvre de techniques permettant une distribution optimale de l'énergie dans le réseau en fonction des besoins réels.

Enfin, d'après les essais effectués par les conducteurs, CARDIGAN devrait permettre d'étudier les conséquences liées à l'ajout de tronçons. Il est en effet possible d'éviter des surdimensionnements de certains tronçons en calculant leurs effets grâce à CARDIGAN, et ainsi de faire des économies sur les nouvelles installations. CARDIGAN peut donc aussi servir de base à la définition de critères d'installation, dans la mesure où il permet de couper des tronçons, changer la température, mettre des postes à l'arrêt et en étudier les conséquences.

VI - CONCLUSION

Lors d'un projet de réalisation du système CARDIGAN d'aide à la conduite de réseau de gaz, trois conducteurs de connaissance et d'expérience complémentaires ont été impliqués directement dans celui-ci. Ils se sont vus ajouter à leur tâche principale de conduite une tâche annexe composée de deux parties principales : (i) concevoir et réaliser le synoptique d'exploitation du réseau de gaz de l'agglomération urbaine de Lille, (ii) évaluer les différentes fonctionnalités du système CARDIGAN, étudier son apport dans la salle de conduite, et proposer des améliorations. Durant les différentes étapes de ce projet, il a été possible d'étudier des situations tout à fait inhabituelles où les conducteurs se prenaient en main, en fonction de leurs besoins, en tant qu'utilisateurs du futur système. Du point de vue de la méthodologie mise en place, certaines remarques peuvent être formulées, et sans doute généralisables à d'autres applications :

- Lors d'un tel projet, il importe bien sûr que les opérateurs maîtrisent les outils informatiques mis à leur disposition pour parvenir à des synoptiques efficaces du point de vue de leur animation graphique. Pourtant, on s'est aperçu que, plusieurs mois après leur formation sur

ces outils, certaines fonctions graphiques (présentées en anglais) étaient mal utilisées ou carrément rejetées. Une leçon à tirer de ces constatations est la nécessité de la mise en place d'une structure visant périodiquement à évaluer et compléter les connaissances des opérateurs dans ces domaines.

- Malgré certaines imperfections ergonomiques qu'il est possible de corriger par une formation en ergonomie, la présentation des informations sur les synoptiques répond à un ensemble de conventions habituellement utilisées par les opérateurs lorsque ceux-ci ont à réaliser eux-mêmes les vues graphiques. Par exemple, lors du projet CARDIGAN, la présentation s'est inspirée de documents papier ou de synoptiques muraux affichés dans la salle, et, en tant que futurs utilisateurs de ces vues graphiques, les conducteurs ont mis un soin particulier à leur réalisation mais ils se rendaient cependant compte qu'il était possible de les améliorer.
- En ce qui concerne les variables à présenter sur les différentes vues, il importe que leur choix soit validé par des ingénieurs experts du procédé en concertation avec l'ensemble des opérateurs. En effet, il est désormais établi que l'opérateur utilise pour ses interventions un modèle interne de conduite du procédé, basé sur une représentation mentale de son fonctionnement, des différentes tâches à accomplir, et des actions à réaliser (Ochanine, 1971 ; Bainbridge, 1978). Ce modèle est différent suivant les intervenants (voir par exemple des exemples de modèles différents donnés par Lejoly, De Keyser et Housiaux, 1989). Une conséquence ergonomique découlant directement de ces différences inter-individuelles identifiées très souvent dans les salles de contrôle de procédé est que, au niveau des outils graphiques d'assistance, si des opérateurs ont des images opératives différentes, un schéma adapté à l'un n'est peut-être pas adapté aux autres (Sperandio, 88). Lors d'un tel projet, il importera donc d'être particulièrement vigilant sur ce point et ne pas laisser l'initiative complète aux opérateurs qui sont d'ailleurs appelés à changer de fonction et à être remplacés au bout de quelques années.
- Dans de nombreux procédés complexes où les opérateurs **se relayent** dans la salle de contrôle, il est extrêmement difficile et onéreux de rassembler ceux-ci dans un but de formation par exemple (le procédé ne pouvant d'ailleurs pas se conduire tout seul !). Une solution consiste à les séparer en plusieurs groupes. Les opérateurs étant souvent complémentaires en expérience et en connaissances, un inconvénient d'une telle séparation est que chacun des opérateurs ne pourra pas bénéficier des enseignements tirés des phases de discussion et des commentaires suscités par l'un d'entre eux. En raison du nombre peu élevé de conducteurs (trois), il a été possible lors du projet CARDIGAN de les rassembler lors des horaires normaux de travail dans un but de formation en ergonomie des interfaces. Une condition s'imposait alors : la formation devait être effectuée dans la salle de conduite et s'interrompre immédiatement en cas de problème de conduite. Cette contrainte s'est rapidement transformée en avantage pour la formation, dans la mesure où il était possible de discuter à chaud des problèmes ergonomiques et techniques rencontrés par les conducteurs, et d'essayer de formuler des solutions.
- Comme le suggèrent de nombreux auteurs, fournir un ensemble de recommandations ergonomiques (sous forme de règles strictes à respecter) à des concepteurs d'interfaces homme-machine est tout à fait insuffisant si celles-ci ne sont pas justifiées et expliquées scientifiquement. La formation d'opérateurs, ainsi que d'ingénieurs, à l'ergonomie des interfaces homme-machine, doit nécessairement passer par leur sensibilisation à des aspects plus généraux de l'ergonomie et de la psychologie, et particulièrement à ceux concernant les tâches, les modes de fonctionnement, les ressources et les limites de l'opérateur humain. C'est cette démarche qui a été adoptée lors du projet CARDIGAN. Il est à noter que, lors de la présentation du contenu de la formation, les conducteurs ont marqué leur étonnement sur

les différents aspects qui allaient être discutés avant d'en arriver aux recommandations ergonomiques. Puis, au fur et à mesure des points traités, il s'est alors avéré que les conducteurs s'identifiaient quasiment aux "opérateurs théoriques" faisant l'objet de la formation et discutaient avec intérêt de chaque point par rapport à eux-mêmes. Dans ces conditions, leur compréhension des recommandations ergonomiques se faisait plus naturellement, facilitant ensuite l'évaluation sur ordinateur des synoptiques réalisés ou en cours de réalisation. D'ailleurs, à la fin de la formation, un fait significatif de l'intérêt des conducteurs pour les aspects ergonomiques traités est que ceux-ci ont demandé d'autres ouvrages ergonomiques ou recueils de recommandations en complément des documents qui leur avaient été fournis !

Dans le contrôle des procédés complexes pour lesquels il est possible d'attribuer à l'opérateur des tâches annexes, cette expérience permet d'entrevoir des perspectives prometteuses pour la conception, la réalisation et l'évaluation des outils informatiques mis à la disposition de l'opérateur (Waroux, Sager, 1991). Les conséquences d'une implication directe de l'opérateur dans le projet sont potentiellement nombreuses, par exemple :

- une meilleure acceptation des outils par l'opérateur,
- des interfaces répondant mieux à leurs besoins informationnels, ainsi qu'à leurs habitudes quant à la représentation des informations,
- permettre à l'opérateur de mieux connaître le procédé en lui donnant l'occasion de l'étudier avec l'état d'esprit du concepteur,
- lui permettre de développer son esprit critique lors de la phase d'évaluation,
- mieux le situer par rapport à l'entreprise et ses objectifs en matière d'utilisation de nouvelles technologies.

Il apparaît toutefois que cette démarche d'implication directe de l'opérateur passe obligatoirement par une formation rigoureuse aux outils, techniques et méthodes mis en oeuvre durant le projet, particulièrement au niveau des outils informatiques utilisés et de la communication homme-machine.

BIBLIOGRAPHIE

- Abed M. (1990). Contribution à la modélisation de la tâche par outils de spécification exploitant les mouvements oculaires : application à la conception et à l'évaluation des interfaces homme-machine. Thèse de Doctorat, Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, Septembre 1990.
- Bainbridge L. (1978). "The process controller". In *The Analysis of Practical Skills*. Ed. W.T. Singleton, M.T.P., Press Limited, Lancaster, Lancs, 236-263.
- Carnino A., Idee E., Larchier Boulanger J., Morlat G. (1986). Les erreurs de représentation : pourquoi certaines peuvent être qualifiées de diaboliques. HN/GRETS/86007, EDF, Direction des études et recherches, Février 1986.
- EDF-DER (1988). Ergonomie et conception des dialogues homme-ordinateur, Support de cours, 24-25 novembre 1988.
- Gould J.D., Lewis C. (1985). Designing for usability : Key principles and what designers think. *Communication of ACM*, 28, 300-311.
- Housiaux A. (1988). Supports d'information centralisés et diagnostic en situation d'urgence dans un centre néo-natal. *Le Travail Humain*, tome 51, n°1, 1988.

- Kolski C. (1989). Contribution à l'ergonomie de conception des interfaces graphiques homme-machine dans les procédés industriels : application au système expert SYNOP. Thèse de Doctorat, Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, Université de Valenciennes, Janvier 1989.
- Kolski C. (1991). Assistance graphique à l'opérateur : concepts de base et recommandations ergonomiques. Support d'intervention ergonomique à Gaz de France, Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, Université de Valenciennes.
- Lejoly S., De Keyser V., Housiaux A. (1989). The nature of expertise in an electric power plant. Second European Meeting on Cognitive Science approaches to Process Control, Siena, Italy, October 24-27, 1989.
- Leplat J. (1985). Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail. Armand Colin Editeur, Paris, 1985.
- Loubradou P., Ringot S., Sager J.P., Tronc J.C. (1988). Un système d'aide à la conduite d'un réseau de distribution de gaz naturel. Congrès de l'Association Technique du Gaz, Paris, Juin 1988.
- Millot, P. (1988). Supervision des procédés automatisés et ergonomie. Editions Hermès, Paris, Décembre 1988.
- Millot P., Grzesiak F., Willaeys D. (1985). Approaches to Man-Machine cooperation in control posts of automated processes. 5th European Annual Manual Conference on Human Decision Making and Manual Control, Berlin, June 1985.
- Notte D. (1986). Ergonomie, applications informatiques dans les processus industriels continus : le point de vue des opérateurs. L'homme et l'écran : aspects de l'ergonomie en informatique, Actes du congrès de Nivelles : l'ergonomie en informatique, Editions de l'Université de Bruxelles, Belgique, 1986.
- Ochanine D.A. (1971). L'homme dans les systèmes automatisés. Science du comportement, Dunod, 1971.
- Scapin D.L., Reynard P., Pollier A. (1988). La conception ergonomique d'interfaces: problèmes de méthode. Rapport de recherche n° 957, INRIA, Décembre 1988.
- Schneidermann B. (1987). Designing the user interface : strategies for effective human-computer interaction. Addison-Wesley, 1987.
- Sperandio J.C. (1988). L'ergonomie du travail mental. Editions Masson, Paris, 1988.
- Taborin V. (1989). Coopération entre opérateur et système d'aide à la décision pour la conduite de procédés continus, application à l'interface opérateur système expert du projet ALLIANCE. Thèse de Doctorat, Laboratoire d'Automatique Industrielle et Humaine, Université de Valenciennes, Mars 1989.
- V.I. Corporation (1988). DV-DRAW : Reference manual. Amherst Research Park, Amherst, Massachusetts 01002, U.S.A.
- Van Daele A. (1988a). Réduire l'écart entre la conception et l'évaluation des aides logicielles à l'opérateur : contribution de l'analyse de l'activité. Dans DE KEYSER et VAN DAELE, L'ergonomie de conception, Edition Deboeck, Bruxelles, 1988.
- Van Daele A. (1988b). L'écran de visualisation ou la communication verbale ? Analyse comparative de leur utilisation par des opérateurs de salle de contrôle en sidérurgie. *Le Travail Humain*, tome 51, n°1, 1988.
- Waroux D., Danquigny F. (1989). PICASSO et VIVIANE, logiciels de visualisation développés pour le projet CARDIGAN de conduite assistée de réseaux de gaz. Congrès VISUDA'89, Paris, Juin 1989.
- Waroux D., Sager J.P. (1991). CARDIGAN et REGINA : Conduite de réseaux assistée par Ordinateur. *Revue Gaz d'aujourd'hui*, n°6, 1991.