

Analyser les stratégies de résolution de problèmes en situation naturelle grâce à un simulateur : le cas des régleurs de plasturgie

Jean-Marc Labat, Pierre Pastré, Pierre Parage, Michel Futtersack,
Jean-François Richard, Emmanuel Sander

► To cite this version:

Jean-Marc Labat, Pierre Pastré, Pierre Parage, Michel Futtersack, Jean-François Richard, et al.. Analyser les stratégies de résolution de problèmes en situation naturelle grâce à un simulateur : le cas des régleurs de plasturgie. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2007), Jun 2007, Lausanne, Suisse. pp.497-508. hal-00161468

HAL Id: hal-00161468

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00161468>

Submitted on 10 Jul 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Analyser les stratégies de résolution de problèmes en situation naturelle grâce à un simulateur : le cas des régleurs de plasturgie

Jean-Marc Labat*, **Pierre Pastré****, **Pierre Parage****, **Michel Futtersack*****, **Jean-François Richard******, **Emmanuel Sander******

* LIP6 Paris 6, jean-marc.labat@lip6.fr

** Chaire de communication didactique, CNAM, pastre@cnam.fr,

*** Crip5, Paris 5, michel.futtersack@univ-paris5.fr

**** Paragraphe, Paris 8, richard@univ-paris8.fr, sander@univ-paris8.fr

RÉSUMÉ. C'est à une problématique de diagnostic cognitif des stratégies de résolution de problèmes dans le cadre de l'utilisation d'un simulateur que la recherche présentée dans ce texte apporte une réponse. Menée par une équipe pluridisciplinaire, cette recherche a pour objectif sur un plan fondamental, de confronter des modélisations issues d'analyses reposant presque exclusivement sur des données recueillies dans des contextes artificiels avec des situations réelles en contexte écologique. Après avoir présenté brièvement le domaine d'application (le réglage de presse à injecter en plasturgie) et le simulateur, deux modélisations, l'une basée sur un modèle à base de connaissances, l'autre basée sur un modèle de contraintes sont comparées entre elles, sur un même ensemble de données. Les analyses ont mis en évidence les spécificités et les complémentarités des 2 approches et leur apport à l'évolution conceptuelle de la modélisation. Au-delà même de la conception d'un environnement d'apprentissage, ces analyses permettent aux formateurs d'identifier finement les stratégies mobilisées par les apprenants.

MOTS-CLÉS : diagnostic cognitif, simulateur, systèmes à base de connaissances, modèle de contraintes.

1. Introduction

La simulation est aujourd'hui une approche largement utilisée, en particulier pour la formation professionnelle. Disposer d'un simulateur facilite une démarche de type constructiviste, ce qui est particulièrement adapté à une situation de résolution de problèmes. Nous faisons référence à [PASTRE 05] qui a introduit, dans le contexte de la formation professionnelle, les « simulateurs de résolution de problèmes » dédiés à la mise en scène de situations problèmes présentes dans l'activité de travail.

Cependant, un simulateur, à lui seul, ne constitue pas un environnement d'apprentissage : le simple fait d'utiliser une simulation ne garantit pas l'apprentissage. Un certain nombre de travaux et d'expérimentations ont justifié la nécessité d'ajouter un *support à l'apprentissage* [DE JONG & VAN JOOLINGEN 98]. La situation de simulation nécessite une transposition de l'environnement de référence et de l'action, de la tâche attendue dans la situation didactique, d'un modèle des interactions avec l'environnement et avec les acteurs réels ou simulés dans le dispositif. Pour [SAMURCAY & ROGALSKY 98], la simulation doit être analysée en termes de validité écologique, c'est-à-dire de la pertinence des situations simulées pour l'étude des situations réelles. De plus, pour que les interactions entre le simulateur et les opérateurs soient pertinentes dans le cadre d'un apprentissage, il faut que les stratégies de résolution de problèmes mises en œuvre par les opérateurs soient reconnues par le système. Autrement dit, l'environnement pédagogique doit être capable d'établir le diagnostic des actions réalisées par les opérateurs et de les présenter au tuteur [ROGE & LABAT 04]. Ce diagnostic est le socle nécessaire pour définir des supports complémentaires à l'apprentissage tels que des explications sur le comportement du système ou une aide à la prise de décision. Il est également indispensable pour aider l'apprenant à analyser après coup son comportement au cours de "débriefing" avec le formateur [JOAB et al. 06], [LABAT 02].

C'est à cette problématique de diagnostic cognitif des stratégies de résolution de problèmes dans le cadre de l'utilisation d'un simulateur que le projet PLASTUR (projet TCAN, 2005-2006) a tenté de répondre. Menée par une équipe pluridisciplinaire composée de chercheurs en didactique professionnelle, en psychologie cognitive et en informatique, cette recherche a pour objectif sur un plan fondamental, de confronter des modélisations issues d'analyses reposant presque exclusivement sur des données recueillies dans des contextes artificiels avec des situations réelles en contexte écologique. Sur un plan plus appliqué, l'objectif à terme est de définir avec nos partenaires du monde industriel des formations s'appuyant sur la prise en compte des niveaux de conceptualisation grâce à un environnement informatique d'apprentissage capable de diagnostiquer finement les stratégies de résolution des apprenants.

2. Présentation de la tâche professionnelle de référence

La tâche choisie pour servir à l'analyse de résolutions de problèmes en situation professionnelle est une tâche de réglage de presses à injecter à commande numérique. Nous nous sommes appuyés sur une analyse du travail (tâche et activité) menée par [PASTRE 94] et destinée à évaluer les compétences des professionnels dans la correction de défauts sur les produits fabriqués. Les caractéristiques de la tâche sont les suivantes :

Une presse à injecter est une machine qui transforme des granulés plastiques en objets moulés ayant une forme définie. Le cycle de fabrication est composé de 5 étapes : dosage, injection, maintien, refroidissement et éjection.

Les opérateurs qui ont été observés sont des régleurs : leur tâche consiste principalement à intervenir en cas d'apparition de défauts sur les produits pour les corriger. L'analyse a porté sur la correction de défauts dus au réglage et partiellement sur la correction de défauts dus à l'usure de pièces, dans la mesure où cette usure avait un impact sur les réglages.

Une presse à injecter n'est pas un système dynamique, au sens donné par [HOC 01] : il n'y a pas (ou très peu) de dynamique propre au système. Les transformations résultent de l'action des opérateurs. On peut donc traiter les corrections de défauts comme un cas de résolution de problèmes par transformation d'états : un état initial (la présence d'un défaut) entraîne un certain nombre d'opérations de la part du régleur, jusqu'à obtention d'un état final (absence de défaut). Les principaux défauts de réglage sont : manque, bavure, striage, brûlure, retassure, cassure et serrage fort ou faible.

2.0. Les paramètres de réglage

Pour corriger les défauts sur les produits, un régleur peut agir sur un certain nombre de paramètres. Voici les 7 principaux : la pression de commutation, **PC**, permet d'agir sur la quantité de matière injectée, le temps d'injection **TID** est le temps pendant lequel s'exerce la pression d'injection, la contre-pression **CP** est une pression exercée sur la matière plastique pendant l'étape du dosage, la température du moule **T^omat** détermine la température de la matière pendant l'injection, la pression de maintien **P2** permet de compenser le retrait de la matière pendant la phase de maintien, le temps de maintien **T2** représente le temps pendant lequel s'exerce la pression de maintien et le temps de refroidissement **T3** correspond à l'intervalle entre la fin du temps de maintien et le moment de l'éjection. C'est le moment où les produits finissent de se solidifier.

Outre les actions sur ces paramètres, un régleur peut effectuer quelques autres actions. C'est le cas du changement de buse d'injection, quand celle-ci est « matée » (rétrécissement de l'orifice). Nous avons retenu cette action.

2.1. Modélisation de la situation

Un état correspond à un paramétrage de la presse et à la combinaison des défauts visuels et/ou des indices de courbe résultants. Les régleurs n'ayant pas accès aux valeurs des paramètres, un état est défini, à leurs yeux, uniquement par la combinaison de défauts et d'indices. Les 7 paramètres ont des valeurs *en théorie* continues mais celles-ci peuvent *en pratique* être séparées en trois intervalles disjoints, ce qui se traduit par 3 valeurs pour chaque paramètre, à savoir il a une valeur trop faible, normale ou trop forte. La buse, le huitième paramètre, ne peut prendre que deux valeurs. Il y a donc $3^7 \times 2$, soit 4374 états possibles de la machine. L'état final dépend du niveau de compétence et de connaissance du régleur. Pour les régleurs expérimentés qui exigent la réussite totale, les produits ne doivent présenter aucun défaut et la courbe de pression doit avoir l'allure correspondant au régime normal de la presse. En revanche, des régleurs moins compétents peuvent se contenter d'états finaux approchés. Ainsi, certains aboutiront à des **états compensés**, pour lesquels aucun défaut n'est visible sur le produit, alors que le fonctionnement de la machine est déséquilibré. Ces situations, relativement fréquentes, apparaissent lorsque plusieurs paramètres déréglés se compensent de sorte que l'on obtienne un produit sans défaut visible. Le problème est que ce régime compensé use prématurément la presse. Des régleurs avec des connaissances plus incertaines peuvent également se contenter d'états finaux avec des défauts visuels de niveau acceptable, par exemple un manque ou un serrage « léger ». Les actions permettant de passer d'un état à l'autre sont l'augmentation ou la diminution d'un des paramètres de réglage ou le changement de la buse. Dans notre modélisation, un seul paramètre peut être modifié à la fois et d'une seule unité. Enfin, un aspect essentiel de la situation est la nécessité pour les régleurs de prendre de l'information pour décider des réglages à faire. Ils ont le choix entre :

1/ Le repérage des défauts visuels : c'est la principale prise d'information de la part des régleurs : tous les régleurs commencent par identifier et catégoriser les défauts à corriger. Chaque défaut met sur la voie d'une ou plusieurs causes possibles grâce à un répertoire de connaissances liées au domaine.

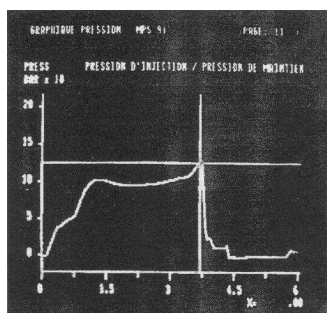


Figure 1. La courbe des pressions

2/ La lecture de la courbe des pressions (voir fig 1) : Pour qui sait la lire dans son intégralité, elle fournit la valeur de 5 variables : PC, TID (d'où on peut inférer la vitesse d'injection), P2, T2, CP. La lecture de la courbe des pressions permet notamment de savoir si la machine ne comporte pas de situations compensées.

2.2. Le répertoire des connaissances du domaine

L'articulation entre prises d'informations et actions sur les paramètres de réglage se fait par la mobilisation du répertoire des connaissances spécifiques au domaine. Voici un extrait du tableau dans lequel on a pris comme exemple l'effet du paramètre TID (temps d'injection dynamique) sur les principaux défauts. Cet effet peut être direct (cause du défaut), indirect (accentue ou atténue un défaut), ou nul. Il est présenté dans le sens paramètre de réglage – défaut.

Manque Bavure	TID lent => Manque faible TID rapide => Bavure	Effet indirect Idem
Striage Brûlure	TID lent => striage TID rapide => Brûlure	Effet direct Pas d'effet
Retassure		Pas d'effet

Tableau 1 (extraits). Relations de causalité entre paramètres d'action et défauts

3. Conception du simulateur

Dans le cadre de cette étude, un simulateur pleine échelle n'aurait pas été utile, ni même souhaitable. En effet, la réduction de la réalité est préférable quand on souhaite focaliser l'attention de l'apprenant débutant et cibler son apprentissage sur la démarche de résolution. Le simulateur a donc été réalisé en étant le plus fidèle possible à la modélisation définie précédemment. Il contient les 4374 états distincts représentant tous les 8-uplets de valeurs possibles. Le régleur peut agir sur chacun de ses paramètres soit pour l'augmenter, soit pour le diminuer (sauf la buse qu'il peut juste changer ou non). Si l'action essayée est impossible (augmenter un paramètre dont la valeur est maximale), un signal visuel lui indique que l'action ne peut se faire. Dans le mode « apprenant », la prise d'information demande une action de l'apprenant car ni l'affichage des défauts, ni l'affichage de la courbe ne sont présents en permanence. Le régleur doit pointer sur l'un des 2 onglets et garder le bouton gauche de la souris enfoncé pour prendre l'information. L'écran est divisé en 3 zones : En haut à gauche, le régleur (apprenant, formateur, expert) agit sur l'état de la machine. En haut, à droite, l'apprenant indique son nom et sélectionne un problème. Toutes les actions pendant la résolution sont enregistrées et peuvent être rejouées. Il est également possible de charger un protocole et de le jouer. Dans la moitié basse de l'écran, on accède aux informations (courbes et défauts) qui restent visibles en permanence dans le mode « formateur ».

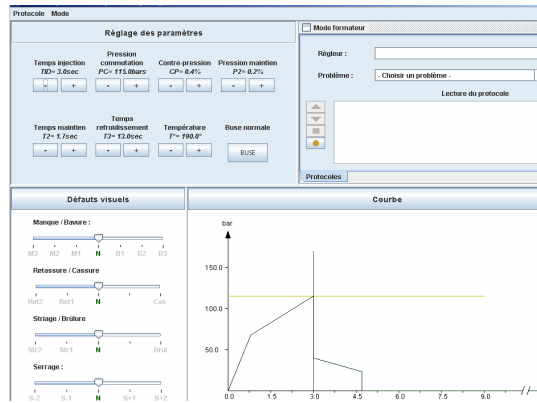


Figure 2. Interface du simulateur

4. Modélisation du diagnostic

L'un des objectifs de ce projet concernant le diagnostic était d'étudier deux approches, une à base de contraintes et une à base de règles afin de voir quels étaient les avantages et inconvénients de l'une et l'autre et d'étudier en quoi elles pouvaient être complémentaires.

4.0. Modélisation à base de contraintes

La notion de contrainte exprime l'idée que la résolution de problème est une interaction et un compromis entre trois processus [RICHARD & al. 93] :

- des buts formés à partir des connaissances de l'acteur sur la situation
- des interprétations : concernant les propriétés des objets, leur état et les possibilités d'agir sur eux
- des heuristiques d'action empruntées à l'expérience et liées au feedback ou à la mémoire de ce qu'on a fait auparavant.

Ces trois composantes [RICHARD 99] définissent les possibilités d'action. Mais il se peut qu'il n'y ait aucune action qui soit compatible avec les 3 composantes : on est alors dans une l'impasse. Pour en sortir, il faut faire un arbitrage entre les contraintes et donc les hiérarchiser. Le modèle des contraintes formalise cette idée. Une contrainte est une sorte de règle qui a 3 particularités :

- C'est un vecteur indiquant pour chaque action si elle est permise (0), interdite (1) ou indifférente (0,5) par rapport à la contrainte.
- un ensemble de contraintes est une contrainte plus restrictive
- les contraintes sont ordonnées dans la liste et en cas d'impasse la contrainte

avec la priorité la plus faible est provisoirement relâchée.

Ex :	C1	C2	C3	C4	
action A1	0	0	0	0:	: A1 est permis par toutes les contraintes
action A2	0	1	0	0	: A2 est interdit par C2
action A3	0	0,5	0	0	: A3 est indifférente par rapport à C2

On construit d'abord un espace des règles à partir de l'analyse des protocoles, ensuite on explore cet espace pour trouver l'assemblage de contraintes qui permet de reproduire au plus près le protocole. Des algorithmes ont été mis au point pour procéder à cette sélection par assemblage successif de contraintes. Le principe est le suivant : Étant donné un protocole, étant donné l'espace des contraintes possibles et une mesure de distance, on construit progressivement par ajout de contraintes la liste qui simule au mieux le protocole (un problème ou une suite de problèmes) en minimisant la distance entre le protocole et la contrainte globale issue de l'assemblage.

Au terme de cette analyse, le protocole est divisé en épisodes, un épisode étant une suite d'essais où les contraintes sont les mêmes. Le changement d'épisode est défini par l'ajout ou la suppression d'une ou plusieurs contraintes. L'ordre des contraintes à l'intérieur de chaque épisode est établi en prenant comme critère le nombre de fois où la contrainte est incompatible avec le protocole dans l'épisode : en effet la contrainte relâchée en cas d'impasse doit être une contrainte qui n'est pas en accord avec le protocole.

4.1. Modélisation à base de règles

A la différence de l'approche à base de contraintes, l'objectif n'était pas de diagnostiquer les stratégies utilisées par un opérateur réel à partir de l'analyse d'un protocole, mais de définir un ensemble restreint de profils d'opérateurs modélisés par des paquets de règles, puis de résoudre un problème avec ces différents profils et de comparer la résolution avec le protocole d'un opérateur réel.

La première étape a été de modéliser ce que nous avons appelé l'Opérateur Idéal (OI), c'est-à-dire sachant quand et où recueillir l'information (par observation de la pièce produite ou par consultation de la courbe) et connaissant parfaitement les résultats de ses actions sur l'état de la presse à injecter.

La deuxième étape a été de modéliser les opérateurs réels. Pour ce faire, nous avons défini 2 classes d'opérateurs :

- un opérateur qualifié de "rustique", possédant les connaissances minimales d'un opérateur permettant de résoudre des problèmes simples
- un opérateur "expert", capable de résoudre des problèmes difficiles, en particulier lorsque la machine se trouve dans un état compensé.

4.1.0. Modélisation de l'opérateur idéal

L'opérateur idéal (OI) commence sa résolution par la rectification de la courbe des pressions. En effet, les problèmes de courbe sont les plus simples à résoudre (pour ceux qui savent interpréter une courbe). Dans un second temps, pour corriger les défauts visuels, l'opérateur idéal adopte une « *stratégie analytique* » de résolution de problèmes [PASTRE 94] Pour chaque défaut, il en connaît toutes les causes possibles et connaît la règle la plus adaptée parmi toutes les règles d'actions.

L'OI suit également des règles plus générales d'adaptation à la tâche non liées au domaine particulier de la plasturgie. Il se peut, en effet, que l'action essayée ne soit pas la bonne. Ainsi, l'OI ne doit faire un retour arrière que s'il se trouve dans une impasse, c'est-à-dire après s'être assuré d'avoir exploré toutes les possibilités dans l'ordre décroissant de leur probabilité, compte-tenu de la situation.

4.1.1. Modélisation des opérateurs réels : l'opérateur rustique

Selon P. Pastré, la principale caractéristique de l'opérateur "rustique" est de prendre en considération uniquement les défauts observés sur les pièces produites. Il effectue des demandes de défauts et ne semble pas (ou très peu) connaître les informations présentes sur la courbe. Même s'il demande parfois la courbe, il n'agit pas sur le bon paramètre. Nous avons fait l'hypothèse simplificatrice que **l'opérateur rustique observe la pièce après chacune de ses actions**. La base de règles a été réalisée à l'issue d'un processus itératif d'extraction de connaissances auprès de Pierre Pastré et en fin de projet auprès d'un expert formateur à l'école de plasturgie d'Alençon. Le modèle, implanté en CLIPS [RILEY, 06] a permis aux experts de corriger/compléter leur expertise quasiment en direct, au vu des exécutions du système expert.

4.1.2. Modélisation des opérateurs réels : l'opérateur expert

On a supposé que, dans tous les cas, l'opérateur expert commence par adopter une attitude rustique, en ne se basant que sur les défauts. Puis, s'il n'arrive pas à résoudre le problème, il exploite les informations lues sur la courbe. Cette fois encore, on fait l'hypothèse simplificatrice que **l'expert consulte systématiquement toutes les informations après chacune de ses actions**. La base de règles du modèle expert est donc une extension de la base de règles du modèle rustique. Les règles spécifiques à l'expert sont candidates dans une deuxième phase de la résolution, après que la résolution en mode rustique n'ait pas abouti. Ces règles n'ont été que partiellement (voir l'analyse § 5.1.2) validées par Pierre Pastré de même que par l'expert du domaine.

5. Résultats obtenus

Nous avons disposé d'un ensemble de protocoles composé de 13 régleurs qui ont traité 168 problèmes sur une version antérieure du simulateur. De cette série, nous avons extrait les protocoles de 8 régleurs sur 8 problèmes. Ces régleurs ont été

choisis parce que nous les avons jugés représentatifs. C'est sur cet ensemble réduit que les tests des 2 modélisations ont été faits.

5.0. Avec le modèle de contraintes

La qualité de la simulation s'est révélée satisfaisante : moins de 5% des prises de décision de prise d'information ou de réglage ne sont pas compatibles avec ce qui est prédit à partir du jeu de contraintes retenu pour simuler le régleur. L'interprétation que fait d'un protocole le modèle des contraintes apporte les éléments suivants pour décrire les comportements :

1) la règle de décision pour choisir le moment de la demande d'information après une action : cette règle, qui varie peu d'un opérateur à l'autre, suit le principe de base de la démarche scientifique : ne faire varier qu'un paramètre du système à la fois, à moins que l'on sache inférer l'état du système

2) le niveau de connaissances des causes des défauts par l'opérateur qui permettent de définir les hypothèses qui engendrent les buts potentiels.

3) le niveau de compétence en matière de lecture de la courbe pour chacun des cinq paramètres sur lesquels elle donne une information. Cette caractéristique est une source majeure de différence entre les opérateurs car il conditionne la stratégie mise en œuvre.

4) le niveau d'exigence de l'opérateur qui définit le moment où il juge qu'il est arrivé à la solution : absence de défaut sauf léger serrage, absence complète de défaut, absence complète de défaut et en plus courbe normale.

5) la nature de la stratégie de prise d'information et de choix des réglages qui est utilisée : pilotage par les défauts, qui ignore complètement l'information potentielle fournie par la courbe, pilotage par la courbe qui consiste à corriger d'abord les paramètres défectueux de la courbe et ensuite seulement pour les défauts qui restent, pilotage par la courbe et les défauts qui utilise simultanément l'information de la courbe et celle des défauts et examine la compatibilité entre les informations apportées par la courbe et les causes connues des défauts.

6) L'importance de la stratégie heuristique par rapport aux stratégies basées sur les connaissances, c'est-à-dire en fait la disposition à abandonner la stratégie en cours en cas de détérioration de la situation ou de défaut d'intelligibilité de celle-ci.

5.1. Avec le modèle à base de connaissances

5.1.0. Le régleur idéal

La modélisation d'un régleur idéal a eu un effet inattendu : on a pu constater que les régleurs réels ne fonctionnaient pas exactement sur le modèle du régleur idéal, même sous une forme dégradée. Aucun régleur, même le plus performant, ne commence de façon systématique à corriger tous les paramètres visibles sur la

courbe pour ne passer qu'ensuite, si besoin est, à la correction des défauts résiduels. Ceci a conduit à revisiter les analyses faites initialement. La correction des défauts ne se fait pas sur un registre épistémique pur, mais plutôt sur un registre pragmatique [PASTRE, 04] : les régleurs cherchent à trouver un état acceptable en un minimum de temps. Même quand ils sont sur simulateur, ils continuent à mobiliser les stratégies qu'ils utilisent dans le travail. Cela se traduit par un certain nombre de règles. Voici les principales :

- la priorité est d'éliminer tous les défauts inacceptables,
- les défauts acceptables ne sont éliminés que si c'est compatible avec le coût
- la catégorisation des défauts se fait selon 2 critères : leur origine et, pour un défaut donné, la connaissance du nombre de causes possibles.
- Les défauts figurant dans l'état initial du problème guident la recherche. Les défauts apparus en cours de route sont traités comme des essais non confirmés.
- Dans certains cas, on accepte l'existence de situations compensées.
- Le recours à la courbe des pressions n'est indispensable qu'en cas de compensation non équilibrée engendrant un défaut inacceptable.

C'est cet ensemble de règles qui a défini les 2 modèles d'opérateurs réels : le « modèle rustique », qui pilote par les défauts et laisse beaucoup de compensations, mais ne laisse subsister aucun défaut inacceptable, le « modèle expert » qui sait combiner les prises d'information sur les défauts et sur la courbe, mais qui peut, lui aussi, laisser subsister des compensations.

5.1.1. Comparaison du modèle rustique avec les protocoles

Les résultats sont très encourageants. Les 3 sujets identifiés par P. Pastré comme opérateurs rustiques sont très proches du modèle rustique. Ils ne demandent jamais (ou très rarement) à consulter la courbe. Pour les 8 problèmes considérés, le simulateur rustique est similaire à au moins un des 3 sujets.

5.1.2. Comparaison du modèle expert avec les protocoles

Pour les 5 sujets humains analysés en détail, le simulateur donne le même résultat dans au moins 50% des cas, pour 2 plus de 60% de similitude. Cependant, cette modélisation d'un opérateur expert est loin d'être suffisante. Bien que notre expert formateur nous ait affirmé que les opérateurs ne construisaient pas de modèle mental de la machine, nous faisons au contraire l'hypothèse que les experts font des inférences sur des données non observables :

- soit des variables physiques dont la valeur n'est pas directement observable sur la machine, mais déductible d'observables
- soit des variables physiques inaccessibles
- soit des variables construites (ex le concept de bourrage) qui représentent une abstraction d'un phénomène physico-chimique faisant intervenir plusieurs variables physiques.

Ce troisième niveau traduirait la construction d'un modèle mental qualitatif de la presse à injecter par les régleurs. Mais il faut remarquer que, suivant les régleurs réels, ce modèle est plus ou moins complet. Chaque état serait représenté par la liste des valeurs des variables observables et non observables. Une transition correspondrait à un réglage de la machine et modifierait également les valeurs des variables construites. Par exemple, l'air présent à l'intérieur du moule est en partie responsable des défauts de brûlure, mais cet air n'est observable ni directement ni indirectement. Une règle du modèle mental pourrait être : si la vitesse d'injection est trop grande alors l'air s'échauffe et si l'air s'échauffe alors il y a risque de brûlure.

6. Bilan

Les apports du projet PLASTUR se situent sur plusieurs plans.

Sur le plan de l'analyse du travail, il a montré que des analyses jusque-là seulement partiellement formalisées et largement qualitatives pouvaient, sans appauvrissement excessif, servir de support à une modélisation informatique, tant par l'approche contrainte que par l'approche modélisation à base de connaissances. De plus, la démarche modélisatrice a été le support pour une évolution conceptuelle de la modélisation, liée aux nécessités d'explicitation propre à la construction d'un modèle informatique et aux réinterprétations auxquelles les résultats des premières tentatives de simulations invitaient.

Sur le plan de la modélisation cognitive du raisonnement lié à la résolution des problèmes en situation naturelle, PLASTUR a été l'occasion de mettre en œuvre des modélisations issues de champs de recherche différents (l'intelligence artificielle pour la modélisation à base de connaissances et la psychologie cognitive pour la modélisation à base de contraintes) non seulement sur un même objet de recherche, mais sur un même ensemble de données. Cette démarche de modélisation conjointe a permis de mettre en évidence les spécificités et les complémentarités des approches des 2 modélisations. Un seul modèle articulant les deux approches paraît possible : la dimension diagnostic serait assurée par l'approche contrainte et les contraintes identifiées serviraient d'entrée pour la sélection des règles d'un modèle à base de connaissances. De cette manière, les différentes couches de la modélisation produite permettraient de concevoir un modèle qui intégrerait l'analyse des comportements à un niveau fin (les contraintes), mais aussi à un niveau de granularité supérieur, lisible par un non spécialiste du modèle, support potentiel d'interactions directes avec les experts du domaine.

Sur le plan de la formation, le simulateur a été testé auprès d'élèves de première année d'une école d'ingénieurs en plasturgie (80 protocoles recueillis). Les premiers éléments de l'analyse quantitative montrent que, à la différence des professionnels qui finissent tous par remédier aux défauts, 30% des problèmes soumis aux élèves ingénieurs restent sans solution. Les stratégies à l'œuvre, centrées sur la résolution des défauts, engendrent une amélioration significative de la performance par le simple exercice de l'action sur le simulateur. En revanche, la prise en compte de la courbe de pression, lorsque les sujets ne savent pas y repérer l'incidence des

paramètres de l'action, peut devenir une véritable perturbation et entraîner une baisse sensible de la performance. L'objectif est donc d'intégrer au simulateur un module de diagnostic intelligible par les apprenants et/ou par leur formateur. En effet, l'analyse et la modélisation qui ont été faites peuvent être très utiles aux formateurs en leur permettant d'identifier finement les stratégies mobilisées par leurs apprenants, par comparaison avec les types de stratégies dégagées par le travail d'analyse et de modélisation.

7. Références

- [DE JONG & VAN JOOLINGEN 98] De Jong T. & Van Joolingen W.R., "Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains", *Review of Educational Research*, vol. 68, n° 2, 1998, p. 179-201.
- [HOC 01] Hoc J-M. : "Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations". *Int. J. Hum.-Comput. Stud.* 54 (4): 509-540, 2001
- [JOAB et al. 06] Joab M., Guéraud V. et Pernin J.M. : « Les simulations pour la formation », Chapitre de « Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain », collection IC2, Hermes Sciences, 2006
- [LABAT 02] Labat, J-M. . *EIAH : Quel retour d'information pour le tuteur ?*. Colloque international TICE 2002, novembre 2002.
- [PASTRE 94] Pastré, P. (1994). Le rôle de la conceptualisation dans une situation de résolution de problèmes chez des conducteurs de presses à injecter. Présentation à l'ENS Cachan.
- [PASTRE 04] Pastré P. (2004). Le rôle des concepts pragmatiques dans la gestion de situations problèmes : le cas des régleurs en plasturgie. Dans Pastré P., Samurçay R. (dir) *Recherches en didactique professionnelle*, Toulouse, Octares.
- [PASTRE 05] Pastré P., 2005 "Apprendre par la résolution de problèmes : le rôle de la simulation", in *Apprendre par la simulation. De l'analyse du travail aux apprentissages professionnels* Ed P Pastré (Toulouse)
- [RICHARD et al. 93] Richard, J. F., Poitrenaud, S., & Tijus, C. (1993). Problem solving restructuration : Elimination of implicit constraints. *Cognitive Science*, 17, 497-529.
- [RICHARD 99] Richard, J.F. (1999). Comportements, buts et représentations. *Psychologie Française*, 44, 75-90.
- [ROGE & LABAT 04] Rogé, O., Labat, J-M. (2004). *Integration of Virtual Players into a Pedagogical Simulator*, International Conference on Computer Aided Learning In Engineering Education, CALIE, Grenoble, France, February 2004.
- [SAMURCAY & ROGALSKY 98] Samurçay, R., Rogalsky, J. (1998) *Exploitation didactique des situations de simulation*. Le travail humain, Vol 61, No. 4, pp. 333-360

7.0. Références sur le Web

- [RILEY 06] Riley, G. (2006) *CLIPS A Tool for Building Expert Systems*, <http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>